



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISIS FASA, SIFAT MAGNETIK, DAN PENYERAPAN
GELOMBANG MIKRO BAHAN SERBUK MAGNETIT
(Fe₃O₄)-SEMEN PORTLAND TIPE I**

Tri Oktafiana
NRP 1112 100 068

Dosen Pembimbing
Dr. Mashuri, M.Si

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SF 141501

**THE ANALYSIS OF PHASE, MAGNETIC PROPERTIES,
AND MICROWAVE ABSORPTION IN MAGNETIT
(Fe_3O_4) POWDER AND TYPE I PORTLAND CEMENT
MATERIALS**

Tri Oktafiana
NRP 1112 100 068

Advisor
Dr. Mashuri, M.Si

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**ANALISIS FASA, SIFAT MAGNETIK, DAN
PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO BAHAN
SERBUK MAGNETIT (Fe_3O_4)-SEMEN PORTLAND
TIPE I**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRI OKTAFIANA

NRP 1112100068

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Mashuri, M.Si

NIP. 19691216 1994021 001



Surabaya, Juni 2016

ANALISIS FASA, SIFAT MAGNETIK, DAN PENYERAPAN GELOMBANG MIKRO BAHAN SERBUK MAGNETIT (Fe_3O_4)-SEMEN PORTLAND TIPE I

Nama : Tri Oktafiana
NRP : 1112100068
Jurusan : Fisika, FMIPA ITS
Pembimbing : Dr. Mashuri, M.Si

Abstrak

Penelitian ini menggunakan serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 sebagai bahan pelapis permukaan bangunan yang dapat menyerap gelombang mikro. Campuran kedua bahan dikarakterisasi menggunakan X-ray Diffractometer (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) dan Vector Network Analyzer (VNA) dengan variasi perbandingan konsentrasi antara serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 yaitu 5:1, 3:1, 1:1, 1:3, dan 1:5. Dari hasil karakterisasi diperoleh sifat magnetik yang besar yaitu dengan nilai saturasi magnetik dan remanensi magnetik masing-masing sebesar 38,74 emu/gr dan 16,24 emu/gr untuk perbandingan 5:1 dengan jumlah serbuk magnetit (Fe_3O_4) yang lebih banyak, sedangkan penyerapan gelombang mikro paling besar adalah pada perbandingan 3:1 dengan nilai reflection loss sebesar -19,15 dB pada frekuensi 8,24 GHz. Sebagai bahan pelapis bangunan, perbandingan konsentrasi serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 yang paling efektif untuk menyerap gelombang mikro adalah 3:1 karena merupakan perbandingan paling baik untuk pelapis permukaan bangunan.

Kata kunci: *Gelombang mikro, magnetit, pelapis bangunan, semen portland, sifat magnetik.*

**THE ANALYSIS OF PHASE, MAGNETIC PROPERTIES,
AND MICROWAVE ABSORPTION IN MAGNETITE
(Fe₃O₄) POWDER AND TYPE I PORTLAND CEMENT
MATERIALS**

Name : Tri Oktafiana
NRP : 1112100068
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Mashuri, M.Si

Abstract

This research using magnetite (Fe₃O₄) powder and type I Portland cement as building surface coating material that can absorb microwave. A mixture of two materials was characterized by X-ray Diffractometer (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), Vibrating Sample Magnetometer (VSM) and Vector Network Analyzer (VNA) with variation of the ratio concentration of magnetite (Fe₃O₄) powder and type I Portland cement that is 5:1, 3:1, 1:1, 1:3, and 1:5. Characterization result show that the highest magnetic properties with value of magnetic saturation and magnetic remanence of each 38,74 emu/gr and 16,24 emu/gr for ratio 5:1 with concentration of magnetite powder more than Portland cement, while the highest absorption of microwave is in ratio 3:1 with reflection loss value -19,15 dB at frequency 8,24 GHz. As a coating material of building, magnetite powder and Portland cement ratio is 3:1 because it is the best ratio for coating the building surface.

Key words: *building coating, magnetite, magnetic properties, microwave, Portland cement.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pasir Besi	5
2.2 Karakteristik Magnetit (Fe_3O_4)	7
2.3 Semen Portland	8
2.4 Jenis-jenis Semen Portland	12
2.5 Perbandingan Pasir dan Semen untuk Pelapisan Dinding ..	13
2.6 Penyerapan Gelombang Mikro	14
2.7 Material Penyerap Gelombang Radar	17
BAB III METODOLOGI	19
3.1 Alat dan Bahan	19
3.1.1. Alat	19
3.1.2. Bahan	19

3.2	Prosedur Kerja	19
3.2.1.	Separasi Sampel Magnetit (Fe_3O_4) dari Pasir Besi Lumajang	19
3.2.2.	Preparasi Sampel Semen Portland tipe 1	19
3.2.3.	Variasi Perbandingan Konsentrasi Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland Tipe 1	21
3.3	Metode Karakterisasi	23
3.3.1.	Karakterisasi Komposisi Fasa Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1	22
3.3.2.	Karakterisasi Sifat Magnetik pada Sampel Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1	23
3.3.3.	Karakterisasi Penyerapan Gelombang Mikro pada Sampel Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1	23
3.4	Diagram Alir	24
3.4.1	Preparasi Sampel Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi Lumajang	24
3.4.2	Preparasi Sampel Semen Portland tipe 1	26
3.4.3	Variasi Perbandingan Konsentrasi campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Preparasi Sampel Pasir Besi Lumajang	29
4.1.1	Hasil Separasi Serbuk Magnetit dari Pasir Besi Lumajang	29
4.1.2	Identifikasi Komposisi Unsur Serbuk Magnetit (Fe_3O_4)	31
4.1.3	Identifikasi Komposisi Fasa Serbuk Magnetit (Fe_3O_4)	32
4.2	Preparasi Sampel Semen Portland Tipe 1	33
4.2.1.	Identifikasi Komposisi Unsur Semen Portland Tipe 1	34

4.2.2. Identifikasi Komposisi Fasa Semen Portland Tipe 1 Q.....	35
4.3 Pencampuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1	37
4.3.1. Identifikasi Komposisi Fasa Campuran Serbuk Magnetit dan Semen Portland Tipe 1	37
4.4 Analisa Sifat Kemagnetan Campuran Serbuk Magnetit dan Semen Portland Tipe 1	39
4.5 Sifat Penyerapan Gelombang Mikro pada <i>X-Band</i> Menggunakan <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA)	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
BIODATA PENULIS	55
LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN B	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia dan karakteristik fisik dari semen.....	10
Tabel 2.2 Jenis - jenis semen Portland berdasarkan komposisi kimianya	12
Tabel 2.3 Properti berbagai gelombang elektromagnetik	15
Tabel 2.4 Pembagian daerah jangkauan gelombang mikro	16
Tabel 4.1 Data hasil uji XRF pasir besi	31
Tabel 4.2 Posisi 2θ dari puncak difraksi magnetit (PDF #00-079-0417)	33
Tabel 4.3 Data hasil uji XRF semen Portland tipe 1	34
Tabel 4.4 Posisi 2θ dari puncak difraksi semen portland (PDF #00-073-0599, #00-074-0803, dan #00-070-0839)	36
Tabel 4.5 Besar medan saturasi (Ms) dan medan koersivitas (Hc) sampel campuran serbuk magnetit : semen Portland tipe 1	41
Tabel 4.6 Parameter serapan gelombang mikro dengan variasi perbandingan konsentrasi antara serbuk magnetit dan semen Portland	46
Tabel 4.7 Analogi nilai <i>reflection loss</i> pada sampel uji	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasir besi Lumajang	5
Gambar 2.2 Serbuk Fe_3O_4	6
Gambar 2.3 Struktur kubik ferit, (a) posisi ion logam dalam kristal tetrahedral, (b) posisi ion logam dalam oktahebral, (c) gabungan tetrahedral dan octahedral, (d) kubik magnet.....	8
Gambar 2.4 Proses pembuatan semen Portland	9
Gambar 2.5 Proses pelapisan dinding hangunan	14
Gambar 2.6 Jenis interaksi gelombang pada material.....	15
Gambar 3.1 Alat <i>Planetary Ball Mill Fritsch Pulverisette 5</i> ...	20
Gambar 3.2 Alat pencampur sampel.....	22
Gambar 3.3 Alat Uji VNA	24
Gambar 3.4 Diagram alir preparasi serbuk magnetit (Fe_3O_4) ..	25
Gambar 3.5 Diagram alir preparasi semen Portland tipe 1	26
Gambar 3.6 Diagram alir variasi perbandingan konsentrasi serbuk magnetit Fe_3O_4 dan semen Portland tipe 1	27
Gambar 4.1 Pasir besi Lumajang setelah diayak, dicuci, dan dikeringkan	29
Gambar 4.2 Proses ekstraksi pasir besi Lumajang.....	30
Gambar 4.3 Hasil ekstraksi pasir besi sebanyak 10 kali	30
Gambar 4.4 Sampel Serbuk Magnetit dalam jar	30
Gambar 4.5 Pola XRD ($\text{Cu-K}\alpha$) sampel magnetit (Fe_3O_4)	32
Gambar 4.6 Semen Portland 1 yang telah dimortar	35
Gambar 4.7 Pola XRD ($\text{Cu-K}\alpha$) sampel semen Portland tipe 1	36
Gambar 4.8 Sampel campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1	37
Gambar 4.9 Pola XRD ($\text{Cu-K}\alpha$) secara berurutan dari bawah: (a) semen Portland tipe 1, (b) serbuk magnetit (Fe_3O_4), (c) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 5:1, (d) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 1:1, dan (e) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 1:5	38

Gambar 4.10 Kurva histeresis sampel pada saat perbandingan konsentrasi serbuk magnetit dan semen Portland secara berurutan: (a) 5 : 1, (b) 1 : 1, dan (c) 1 : 5	40
Gambar 4.11 Sampel yang akan diuji VNA	42
Gambar 4.12 Proses pengujian VNA	42
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara frekuensi dan <i>reflection loss</i> pada saat perbandingan konsentrasi serbuk magnetit dan semen Portland secara berurutan: (a) 5 : 1, (b) 3 : 1, (c) 1 : 1, (d) 3 : 1, dan (e) 5 : 1	43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN B	59

”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan informasi yang sangat pesat pada beberapa dekade ini adalah pada pengembangan material absorber gelombang mikro. Gelombang mikro adalah salah satu gelombang elektromagnetik yang bekerja pada rentang frekuensi 0,3-300 GHz dengan panjang gelombang antara 1 m – 1mm (Afza, 2011). Berbagai macam alat yang telah dibuat dengan memanfaatkan gelombang mikro ini, seperti peralatan elektronik, satelit komunikasi, maupun pada aplikasi pertahanan militer. Pada pertahanan militer, material absorber banyak diaplikasikan untuk lapisan badan pesawat, kapal, kapal selam, dan banyak alat pada bidang militer agar tidak dapat dideteksi oleh gelombang radar yang termasuk didalam gelombang mikro. Selain sebagai pelapis badan alat militer, material absorber juga dapat diaplikasikan pada bangunan gudang persenjataan negara atau bangunan militer yang dengan sengaja disembunyikan lokasinya dari alat pendeteksi gelombang mikro. Dengan demikian, teknologi material absorber ini akan sangat berguna dalam pengembangan teknologi pertahanan negara.

Material penyerap gelombang mikro dengan frekuensi penyerapan yang beragam dianggap sebagai solusi efektif bagi penanggulangan efek dari gelombang mikro. Salah satu tujuan yang ingin dicapai adalah untuk mendapatkan material penyerap gelombang yang murah tetapi memiliki kemampuan penyerapan yang baik. Salah satu kekayaan alam yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia adalah pasir besi. Pasir besi adalah pasir yang kaya akan kandungan besi (Fe). Umumnya kandungan besi pada pasir besi tersebut dalam keadaan teroksidasi dan membentuk besi oksida. Sebagian besar pemanfaatan pasir besi adalah untuk bahan bangunan. Belakangan ini penelitian tentang kandungan pasir besi di berbagai lokasi sangat sering dilakukan. Hasil dari beberapa

penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan bahan magnetit terbesar pasir besi adalah Fe_3O_4 atau fasa magnetit. Untuk menjadi material penyerap gelombang mikro yang baik, harus memenuhi beberapa kriteria yang salah satunya adalah murah dan mudah didapatkan. Dalam hal pelapisan permukaan bangunan penyerap gelombang mikro, dibutuhkan berbagai komponen selain pasir besi yaitu semen Portland tipe 1. Campuran dari serbuk magnetit (Fe_3O_4) yang didapatkan dari pasir besi dan semen Portland tipe 1 ini akan diteliti dengan beberapa perbandingan konsentrasi, sehingga akan diketahui berapa perbandingan konsentrasi yang paling efektif untuk dapat menyerap gelombang mikro secara optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbandingan konsentrasi serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 terhadap sifat magnetik dan penyerapan gelombang mikro, serta berapa perbandingan konsentrasi paling efektif sebagai pelapis permukaan bangunan agar dapat menyerap gelombang mikro dengan baik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh perbandingan konsentrasi serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 terhadap sifat magnetik dan penyerapan gelombang mikro, serta menentukan perbandingan konsentrasi yang paling efektif sebagai pelapis permukaan bangunan agar dapat menyerap gelombang mikro dengan baik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah metode yang digunakan untuk mereduksi ukuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) adalah dengan penggilingan (*milling*) dan untuk pencampuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dengan semen Portland tipe 1 digunakan metode pencampuran secara mekanik dengan variasi perbandingan konsentrasi sebesar 5:1, 1:3, 1:1, 3:1, dan 5:1.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh bahan pelapis permukaan bangunan yang dapat menyerap gelombang mikro dan dapat memberikan pemahaman tentang bagaimana cara menghasilkan bahan magnetit (Fe_3O_4) yang menghasilkan sifat magnet yang tinggi serta penyerapan gelombang yang maksimal.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi gambaran umum dari penelitian ini. Bab I pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka berisi tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dari penelitian, Bab III metodologi penelitian, Bab IV hasil penelitian dan pembahasannya, dan Bab V kesimpulan dan saran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasir Besi

Pasir merupakan salah satu bahan alam yang tersedia sangat melimpah di Indonesia. Pasir biasa dimanfaatkan untuk bahan bangunan sebagai campuran semen dalam pembuatan tembok sebagai pelapis batu bata. Pasir besi sendiri pada umumnya memiliki komposisi utama besi oksida (Fe_2O_3 dan Fe_3O_4), silicon oksida (SiO_2), dan senyawa-senyawa lain dengan kadar yang lebih rendah. Pasir besi umumnya ditambang didaerah sungai atau tambang pasir dipegunungan. Pasir besi adalah mineral endapan atau sedimen yang memiliki ukuran butir 0,074 – 0,075 mm, dengan ukuran kasar (5-3 mm) dan halus (< 1 mm). (Solihah, 2010).



Gambar 2.1 Pasir besi Lumajang (Hartono, 2014).

Salah satu daerah penghasil pasir besi yang cukup besar terdapat di daerah Lumajang yang merupakan daerah pesisir pantai selatan di Jawa Timur. Mineral magnetit yang biasanya ditemukan dalam pasir besi adalah magnetit (Fe_3O_4) (Sunaryo dan Widyawidura, 2010). Karakter pasir besi Lumajang tersebut yang akan digunakan sebagai bahan dasar pembuatan partikel nano Fe_3O_4 mempunyai kadar Ferum (Fe) yang sangat tinggi, yaitu sekitar 80-90 persen (Henny, 2013).

Pasir besi umumnya mempunyai komposisi utama besi oksida yaitu magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$), silikon oksida (SiO_2) serta senyawa lain dengan kadar kandungan yang lebih rendah, seperti fosfor, sulfur, aluminium (Al_2O_3), vanadium (V_2O_5), titanium dan kromium (Hartono, 2014). Mineral utama pasir besi tersebut memiliki sifat kemagnetan yang tinggi, yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 . Namun Fe_2O_3 memiliki interaksi yang lebih lemah di dalam medan magnet dibandingkan Fe_3O_4 (Sunaryo dan Widyawidura, 2010). Komposisi kandungan pasir besi dapat diketahui setelah dilakukan pengujian, seperti menggunakan alat uji XRD (*X-Ray Diffraction*) atau XRF (*X-Ray Fluorescence*). Sehingga dapat dilakukan modifikasi dalam suatu penelitian tersebut seperti dengan memperkecil ukuran partikelnya menjadi partikel mikro maupun nano untuk menambah nilai jual pasir besi.

Partikel nano magnetik memiliki sifat fisis dan kimia yang bervariasi dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Salah satu partikel magnetik tersebut yang dapat dijadikan berukuran nanometer adalah besi oksida seperti Fe_3O_4 (magnetit). Menurut Lao et al., 2004 pada penelitiannya mengatakan bahwa partikel nano ini dapat dimanfaatkan sebagai material untuk kegunaan sistem pengangkutan obat-obatan dan terapi kanker. Agar dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang tersebut, sangatlah penting untuk mempertimbangkan ukuran partikel, sifat magnetik, dan sifat permukaan dari partikel nano itu sendiri (Solihah, 2010).



Gambar 2.2 Serbuk Fe_3O_4 (Solihah, 2010).

Sifat Oksida Besi

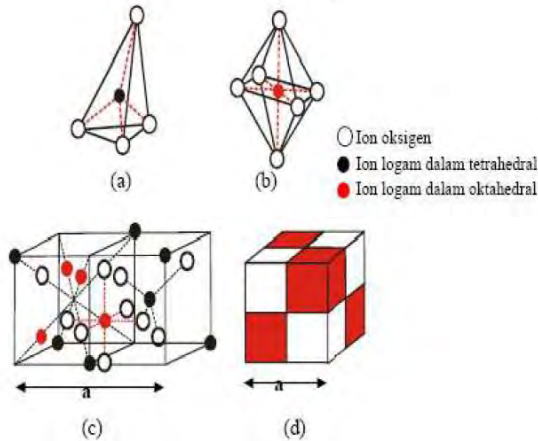
- a. Besi (II) Oksida (FeO) atau oksida besi juga disebut sebagai wusite dalam bentuk mineral. Bubuk oksida hitam ini mudah sekali terbakar dan dapat menimbulkan ledakan,
- b. Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) atau oksida besi juga disebut sebagai bijih besi atau maghemite dalam bentuk mineral. Setelah dimurnikan, besi oksida digunakan sebagai lapisan dalam media audio dan computer. Dalam lingkungan yang kering atau alkali, besi oksida sebagai komponen utama karat.
- c. Besi (II, III) Oksida (Fe_3O_4) atau besi oksida yang biasa disebut sebagai magnetite atau magnet dalam bentuk mineral (Solihah, 2010)

2.2 Karakteristik Magnetit (Fe_3O_4)

Telah dijelaskan oleh Grace Tj. Sulungbudi, Mujamilah dan Ridwan (2006), bahwa fasa magnetit (Fe_3O_4) yang terdapat pada besi oksida mempunyai sifat magnetik yang sangat baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro. Mengoptimalkan sifat magnetik bahan oksida besi dapat dilakukan dengan cara pembuatan bahan dengan fasa Fe_3O_4 semurni mungkin. Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu oksida logam yang sangat kuat sifat magnetisnya. Salah satu kelebihan magnetit yaitu mengabsorpsi gelombang elektromagnetik melalui mekanisme kemagnetan khususnya terhadap atom-atom atau ion-ion logam yang bersifat para magnetik (Nuzully, 2013).

Magnetit memiliki strukur kristal spinel dengan sel unit berbentuk kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, dan celah-celahnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Terdapat delapan ion Fe^{3+} dalam tiap sel berada pada bagian tetrahedral, karena berada ditengah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion oksigen. Sedangkan sisanya delapan ion Fe^{3+} dan delapan ion Fe^{2+} berada pada octahedral, karena ion-ion oksigen disekitarnya menempati sudut-sudut sebuah octahedron yang sudut-sudutnya ditempati oleh enam atom oksigen (Solihah, 2010). Setiap unit sel

berisi ion – ion yang terbagi menjadi 8 oktan, masing – masing berukuran $a/2$ (gambar 2.3c), empat oktan yang diarsir memiliki ukuran isi yang sama (Cullity, B. D., 1972).



Gambar 2.3 Struktur kubik ferit (Cullity, B. D., 1972), (a) posisi ion logam dalam kristal tetrahedral, (b) posisi ion logam dalam oktahedral, (c) gabungan tetrahedral dan octahedral, (d) kubik magnet.

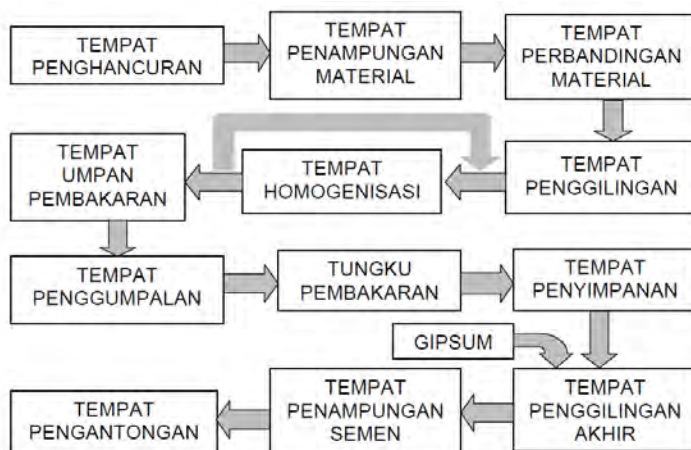
Struktur kristal magnetik alami dan buatan salam skala mikro terlihat seperti kilauan metal dan berwarna hitam buram. Magnetit memiliki densitas sebesar $5,18 \text{ g/cm}^3$. Densitas magnetit ini sedikit lebih ringan jika dibandingkan hematite coklat kemerahan yaitu sebesar $5,26 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan besi murni ($\alpha\text{-Fe}$) memiliki densitas sebesar $7,87 \text{ g/cm}^3$ (Blaney,2007).

2.3 Semen Portland

Semen berasal dari bahasa latin “*caementum*” yang berarti perekat. Semen merupakan *hydraulic binder* (perekat hidraulik), artinya senyawa-senyawa yang ada didalam semen dapat beraksi dengan air memben tuk zat baru yang dapat mengikat benda-benda padat lainnya sehingga membentuk satu kesatuan massa yang kompak, padat, dan keras. Pada perkembangannya banyak jenis semen yang dibuat dan disesuaikan dengan kebutuhan dalam

pembangunan, namun semen Portland tetap merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan di dalam konstruksi di Indonesia. Sejak tahun 1999 penjualan semen Portland untuk konstruksi bangunan di Indonesia terus meningkat (Marzuki, 2009).

Menurut Riyadi dan Amalia (2005), semen Portland adalah bahan perekat yang dapat mengeras apabila bersenyawa dengan air dan berbentuk padat yang tidak larut dalam air. Sedangkan menurut Botahala (2013), proses pembuatan semen Portland ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Proses pembuatan semen Portland (Botahala, 2013)

Bahan baku berupa bongkahan batu kapur dan tanah liat diangkut ke tempat penghancuran untuk dipecahkan, lalu diangkut ke tempat penampungan material. Dari tempat penampungan, material (batu kapur, tanah liat, pasir besi, pasir silica) diangkut ke tempat perbandingan material untuk pengaturan perbandingan, kemudian diangkut ke tempat penggilingan untuk digiling sekaligus dikeringkan. Dari tempat penggilingan, material ini diangkut dan dimasukkan ke tempat homogenisasi. Hasil homogenisasi yang sempurna dengan

sendirinya akan masuk ke tempat penampungan umpan pembakaran, sedangkan yang belum sempurna dikembalikan untuk homogenisasi lagi. Dari tempat penampungan umpan pembakaran, material diangkut ke tempat penggumpalan material untuk pembuatan gumpalan atau butiran sebelum dibakarpada tungku pembakaran. Setelah itu, hasil pembakaran diangkut ke tempat penyimpanan untuk didinginkan, dan bersama – sama gypsum dengan perbandingan tertentu diangkut ke penggilingan akhir untuk digiling menjadi semen. Setelah itu semen diangkut ke tempat penampungan semen dan selanjutnya diangkut ke tempat pengemasan.

Tabel 2.1. Komposisi kimia dan karakteristik fisik dari semen (Ouda, 2015).

Oksida	(massa, %)	Karakteristik fisik	
SiO ₂	21,26	Berat jenis	3,15
Al ₂ O ₃	4,49	konsistensi	24%
Fe ₂ O ₃	3,49	Permukaan spesifik <i>Blaine</i>	2415
CaO	63,81	waktu <i>setting</i> awal	103 min
MgO	2,02	waktu <i>setting</i> akhir	211min
SO ₃ ²⁻	3,11		
Cl ⁻	0,03		
Na ₂ O	0,14		
K ₂ O	0,09		
TiO ₂			
BaO			
P ₂ O ₅			
L.O.I	1,57		
Total	99,98		

Semen Portland adalah bahan perekat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan berbentuk padat yang tidak larut air. Secara umum pembuatan semen Portland adalah bahan baku berupa bongkahan batu kapur dan tanah liat diangkut ke tempat penghancuran untuk dipecahkan lalu diangkut ke tempat penampungan material. Dari tempat penampungan, material (batu kapur, tanah liat, pasir besi, pasir silica) diangkut ke tempat perbandingan material untuk penhaturan perbandinga, selanjutnya diangkut ke tempat penggilingan untuk digiling sekaligus dikeringkan. Dari tempat penggilingan, material diangkut dan dimasukkan ke tempat homogenisasi. Hasil homogenisasi sempurna dengan sendirinya akan masuk ke tempat penampungan umpan pembakaran sedangkan yang belum sempurna dikembalikan untuk dihomogenisasi lagi. Dari tempat penampungan umpan pembakaran, material diangkut ke penggumpalan material untuk pembuatan gumpalan atau butiran sebelum dibakar pada tungku pembakaran. Selanjutnya hasil pembakaran diangkut ke tempat penyimpanan untuk didinginkan dan bersama – sama gypsum dengan perbandingan tertentu diangkut ke penggilingan akhir untuk digiling menjadi semen. Setelah itu semen diangkut ke tempat penampungan semen dan selanjutnya diangkut ke tempat pengantongan semen. Setelah dikantongkan, semen siap dipasarkan (Botahala, 2013).

Menurut Bogue, rumusan tentang reaksi pembentukan fasa mineral semen dalam klinker yaitu terjadi reaksi antara komponen-komponen utama penyusun semen. Oksida besi (Fe_2O_3) bereaksi dengan oksida alumina (Al_2O_3) dan oksida kapur (CaO) membentuk $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$. Oksida alumina (Al_2O_3) yang tersisa bereaksi dengan oksida kapur (CaO) membentuk $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$. Oksida kapur bereaksi dengan oksida silica (SiO_2) membentuk $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Mohammed,2012). Secara umum, konsentrasi dan sifat mineral semen Portland yaitu: $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (50-70)% yang sifatnya memberikan hidrasi dan pengikatan yang cepat serta kontribusi terhadap kekuatan awal, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (10-30)% yang sifatnya memberikan hidrasi lambat

dan kekuatan dalam jangka panjang, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (3-13)% yang sifatnya memberikan hidrasi sangat cepat, panas hidrasi yang tinggi, kontribusi terhadap pengikatan dan kekuatan awal, dan $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (5-15)% yang sifatnya memberikan hidrasi cepat, dan warna semen (Van Oss, 2005 dalam Botahala, 2013).

2.4 Jenis – Jenis Semen Portland

Berdasarkan komposisi kimianya, semen Portland dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Jenis – jenis semen Portland berdasarkan komposisi kimianya (%).

Tipe Semen	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaSO_4	CAO bebas	MgO bebas
Tipe 1	42-67	8-31	5-14	6-12	2,4-3,4	0-1,5	0,7-3,8
Tipe 2	37-55	19-39	4-8	6-16	2,1-3,4	0,1-1,8	1,5-4,4
Tipe 3	34-70	0-28	7-17	6-10	2,2-4,6	0,1-4,2	1,0-4,8
Tipe 4	21-44	34-57	3-7	6-18	2,6-3,5	0-0,9	1,0-4,1
Tipe 5	35-53	24-49	1-5	6-15	2,4-3,9	0,1-0,6	0,7-2,3

Sifat dan manfaat untuk tipe semen Portland adalah sebagai berikut:

a. Semen Portland tipe I (semen penggunaan umum)

Sifat dari semen Portland tipe I yaitu MgO dan SO_3 hilang pada saat pembakaran. Kehalusan dan kekuatannya secara berturut – turut juga ditentukan. Secara umum mempunyai sifat – sifat umum dari semen. Digunakan secara luas sebagai semen untuk teknik sipil dan konstruksi arsitektur misalnya pembangunan jalan, bangunan beton bertulang, jembatan dan lain – lain.

b. Semen Portland tipe II (semen pengeras pada panas sedang)

Semen Portland tipe II mempunyai C_3S kurang dari 50% dan C_3A kurang dari 8%. Kalor hidrasi 70 kal atau kurang (7 hari) dan 80 kal tau kurang (28 hari) pada kondisi sedang.

Peningkatan dari kekuatan jangka panjang diinginkan. Secara umum dipakai untuk mencegah serangan sulfat dan lingkungan sistem *drainase* dengan kadar konsentrasi tinggi didalam tanah.

c. Semen Portland tipe III (semen berkekuatan tinggi awal)

Semen portland tipe III mengandung C_3S maksimum. Kekuatan awal (1 hari dan 3 hari) diintensifkan, ditentukan untuk mempunyai kekuatan diatas 40kg/cm^2 selama penekanan 1 hari dan di atas 90 kg/cm^2 selama panekanan 3 hari. Kegunaannya yaitu untuk menggantikan semen penggunaan umum untuk pekerjaan yang mendesak. Cocok untuk pekerjaan dimusim dingin. Biasanya dipakai untuk konstruksi bangunan, pekerjaan pembuatan jalan, dan produk semen.

d. Semen Portland tipe VI (semen jenis rendah)

Pada semen Portland tipe VI, kalor hidrasi lebih rendah 10 kal dari pada semen pegas pada panas sedang, ditentukan dibawah 60 kal (7 hari) dan dibawah 70 kal yaitu 28 hari (ASTM). Memberikan kalor hidrasi minimum seperti semen untuk pekerjaan bendungan. Kegunaannya yaitu digunakan pada struktur – struktur dam dan bangunan masif. Dimana panas yang terjadi sewaktu hidrasi merupakan faktor penentubagi kebutuhan beton/mortar.

e. Semen Portland tipe V (semen tahan sulfat)

Semen Portland tipe V mempunyai C_3S dibawah 50% dan C_3A dibawah 50% (ASTM). Dusahakan agar kadar C_3A minimum untuk memperbesar kerahanan terhadap sulfat. Biasanya dipakai untuk pekerjaan beton dalam tanah yang mengandung banyak sulfat dan yang berhubungan dengan air tanah dan pelapisan dari saluran air dalam terowongan. (Chu Kia Wang, 1993)

2.5 Perbandingan Pasir dan Semen untuk Pelapisan Dinding

Dalam bidang sipil, telah dirancang komposisi yang ideal untuk membuat struktur bangunan. Untuk menutup permukaan pasangan batako atau bata merah, biasanya digunakan pelapisan

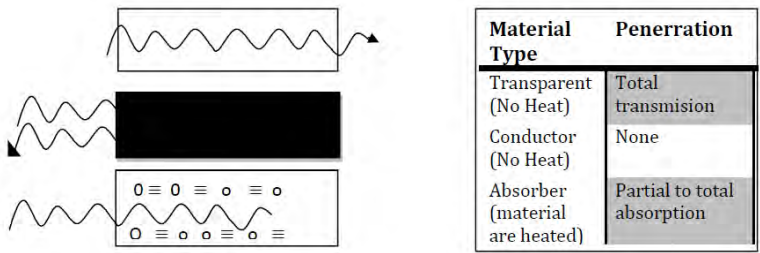
dinding. Pada pelapisan dinding (plesteran), dibutuhkan bahan baku berupa semen Portland dan pasir. Selain itu, dapat pula ditambahkan batu kapur (gamping). Ketebalan lapisan dinding batako yang ideal adalah 2 cm dengan perbandingan komposisi adukan semen Portland dan pasir adalah 1 : 3. Pada keadaan lembab, atau pada lingkungan yang sering terkena air, konsentrasi semen lebih diperbanyak untuk mengurangi resapan air oleh dinding (Susanta, 2012).



Gambar 2.5 Proses pelapisan dinding hangunan (Susanta, 2012).

2.6 Penyerapan Gelombang Mikro

Gelombang mikro merupakan salah satu gelombang elektromagnetik yang bekerja pada rentang frekuensi 0,3-300 GHz dengan panjang gelombang antara 1 m – 1mm.



Gambar 2.6 Jenis interaksi gelombang pada material (Fitrothul, 2012).

Tabel 2.3 Properti berbagai gelombang elektromagnetik

Jenis Gelombang	Frekuensi (GHz)	Energi Quantum (eV)
γ -rays	$3,0 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^{-6}$
x-rays	$3,0 \times 10^{11}$	$1,24 \times 10^{-5}$
Ultraviolet	$1,0 \times 10^6$	4,1
Visible light	$6,0 \times 10^5$	2,5
Infrared light	$3,0 \times 10^3$	$1,2 \times 10^{-2}$
Gelombang mikro	2,45	$1,6 \times 10^{-3}$
Gemombang radio	1×10^{-3}	$4,0 \times 10^{-9}$

Tabel diatas menunjukkan bahwa energi kuantum yang dimiliki oleh radiasi gelombang mikro yaitu sebesar $1,6 \times 10^{-3}$ eV. pada kemampuan bahan untuk menyerap gelombang mikro dan mengubahnya menjadi panas, tergantung pada interaksi antar molekul dengan gelombang mikro. Gelombang mikro ketika mengenai suatu bahan kemungkinan akan mengalami refleksi (pemantulan), transmisi (diteruskan) atau absorpsi (penyerapan). Bahan yang mempunyai sifat penyerap gelombang mikro disebut absorber gelombang mikro, salah satunya bahan magnetit. Bahan magnetit sendiri haruslah mempunyai kandungan momen dipol magnetit karena sangat penting untuk menjelaskan mekanisme absorpsi gelombang mikro oleh bahan tersebut (Henny, 2013). Serapan gelombang mikro terjadi akibat adanya interaksi gelombang dengan material yang menghasilkan efek *Reflection Loss Energy* yang umumnya didisipasikan dalam bentuk panas, yang bisa dipahami dengan komponen gelombang elektromagnetik ke dalam komponen elektrik dan magnetik (Afza, 2011). Komponen magnetik yang sangat mempengaruhi penyerapan gelombang mikro adalah momen dipol magnetit. Momen dipol magnetik dalam bahan magnetit tersebut kemudian saling berinteraksi dan kemungkinan akan bertransisi (berpindah) dari satu tingkat energi rendah ke tingkat energi tinggi yang membutuhkan energi sesuai dengan masing-masing interaksi dipol magnetit. Mekanisme penyerapan gelombang mikro secara mikroskopis diakibatkan

interaksi antar dipol magnetit yang akan menghasilkan beda energi potensial yang berbeda sesuai jarak masing-masing momen dipol magnetit. Perbedaan energi potensial tersebut mengakibatkan frekuensi gelombang mikro yang dapat diserap bervariasi (Mashuri, 2012).

Tabel 2.4 Pembagian daerah jangkauan gelombang mikro

Designation	Jangkauan Frekuensi (GHz)
L	1,22 – 1,70
R	1,70 – 2,60
S	2,60 – 3,95
H	3,95 – 5,85
C	5,85 – 8,20
X	8,20 - 12,40
Ku	12,40 – 18,00
K	18,00 – 26,50
Ka	26,50 – 40,00
U	40,00 – 60,00
E	60,00 – 90,00
F	90,00 – 140,00
G	140,00 – 220,00

Secara makroskopis, terdapat dua konsep untuk memenuhi keadaan refleksi nol saat gelombang elektromagnetik mengenai suatu bahan yaitu *matched wave impedance* dan *matched characteristic impedance*. Pada *matched wave impedance*, impedansi gelombang pada permukaan absorber dibuat sebanding dengan impedansi intrinsik ruang bebas. Untuk mendapatkan daya absorpsi maksimal dilakukan dengan menyelaraskan antara ketebalan dan frekuensi, salah satunya dengan menggunakan bahan ferit. Sedangkan untuk *matched characteristic impedance*, impedansi karakteristik bahan dibuat sebanding dengan impedansi karakteristik ruang bebas. Kesesuaian impedansi tersebut digunakan untuk meminimalkan gelombang pantul

dan memperbesar gelombang yang terserap oleh bahan (Mashuri, 2012).

Karakteristik suatu material absorber gelombang mikro yang baik yaitu memiliki sifat magnetik dan listrik yang baik pula. Material tersebut harus memiliki nilai impedansi tertentu, nilai *permeabilitas relative* (μ_r) dan *permitivitas relative* (ϵ_r) sesuai dengan nilai μ dan ϵ udara atau vakum agar terjadi resonansi empedansi, sehingga nilai dari *reflection loss* yang dihasilkan bahan cukup besar. Selain dari permeabilitas, permitivitas, dan magnetisasi spontan, material penyerap harus memiliki nilai resistivitas listrik yang tinggi atau isolator yang baik. Kombinasi sifat intrinsic material antara sifat magnetik dan sifat listrik dapat menempatkan material magnet sebagai material penyanggah gelombang mikro dengan frekuensi tertentu. Perhitungan nilai *reflection loss* (RL) yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$RL = 20 \log [\Gamma] \dots \dots \dots (2.1)$$

Sedangkan diketahui bahwa,

$$\Gamma = [(Z_{in} - Z_o) : (Z_{in} + Z_o)] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan Z_{in} adalah impedansi input yang diukur dari absorber,

$$Z_{in} = \frac{Z_m}{Z_o} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana Z_m merupakan impedansi material dan Z_o merupakan impedansi udara (Fitrothul, 2012).

2.7 Material Penyerap Gelombang Radar

Radar didefinisikan sebagai sistem elektronik dan elektromagnetik yang menggunakan panjang gelombang radio untuk mencari suatu objek dengan mendekteksi objek tersebut. Sistem radar ini mengirimkan gelombang radio dengan frekuensi tertentu dan mendeteksi sifat dasar dari echo yang dipantulkan. Salah satu teknolohi untuk mencegah deteksi gelombang radar adalah teknologi “siluman”. Prinsip teknologi ini adalah

pemantulan atau penyerapan gelombang radar oleh badan pesawat yang dilapisi oleh *Radar Absorbing Material*. Material penyerap radar pada sebuah desain pesawat harus memiliki RCS (*Radar Cross Section*) yang rendah. *Radar Cross Section* adalah ukuran kemampuan dari target untuk memantulkan sinyal radar ke arah penerima radar. Seperti namanya, RAM dimaksudkan untuk mengurangi sinyal yang tersebar dengan menyerap sebagian dari radar. Energi gelombang mikro diubah menjadi energi panas dengan hampir tanpa kenaikan suhu karena energi yang terlibat sangat kecil. Berbagai jenis bahan bisa dibuat untuk menyerap energi gelombang mikro seperti karbon atau besi. RAM dapat diaplikasikan untuk mengurangi tanda-tanda keberadaan yang terdeteksi oleh gelombang radar, seperti pada kapal, peralatan militer tanah ataupun fasilitas militer lain. RAM dibagi menjadi dua jenis yaitu RAM listrik dan RAM magnetik. Penambahan karbon dalam bahan isolator dapat merubah sifat listriknya, oleh karena itu karbon disebut RAM listrik. Produk besi seperti besi karbonil dan oksida besi biasanya digunakan sebagai RAM magnetik (Nicolaescu, 2006).

Ada dua cara untuk suatu material agar dapat menyerap gelombang elektromagnetik, yaitu dengan menyerap medan magnetik oleh material magnetik dan mengubah gelombang yang masuk menjadi energi panas oleh bahan dielektrik. Selain itu, material juga harus dapat berinteraksi dengan medan listrik dari radiasi dan komponen listrik radiasi elektromagnetik (Won-Jun *et al.*, 2005). Material yang dapat menyerap gelombang mikro dan dapat berperan sebagai *radar absorbing material* harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu material harus tipis, ringan, tahan lama, murah, mudah diterapkan, dan memiliki rentang frekuensi penyerapan yang luas (Hebeish *et al.*, 2008).

BAB III

METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnet permanen, *ball charge* (zircon), kertas *concord*, oven, ayakan, tisu, neraca digital, klip plastic, spatula, gelas ukur, gelas beker, alat pengaduk, mortar, dan *Planetary Ball Mill Fritsch Pulverisette 5*. Untuk karakterisasi sampel sebelum dan sesudah proses pencampuran pasir besi dan semen Portland digunakan alat uji Difraktometer sinar-X (XRD), *X-ray Fluorescence* (XRF), *Vibrating sample Magnetometer* (VSM) dan *Vector Network Analyser* (VNA).

3.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi Lumajang, semen Portland tipe 1, larutan aquades, larutan aseton, dan alkohol.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1. Separasi Sampel Fe_3O_4 dari Pasir Besi Lumajang

Langkah pertama yaitu pasir besi Lumajang diayak terlebih dahulu untuk memisahkan pasir besi dengan batu kerikil. Kemudian pasir besi dibersihkan dengan aquades sebanyak 5 kali. Setelah itu pasir besi dikeringkan dengan sinar matahari untuk menghilangkan kadar air pada pasir besi. Pasir besi kemudian diekstrak menggunakan magnet permanen untuk memisahkan bahan magnetit (Fe_3O_4) dari bahan non magnetit yang terkandung pada pasir besi. Magnet permanen ditempelkan pada satu sisi kertas *concord* setebal 0,3 mm dan pasir besi diletakkan pada bagian sisi lain kertas *concord*, lalu magnet permanen digosok-

gosokkan sampai didapatkan serbuk besi yang tetap menempel pada kertas *concor*. Dilakukan pengulangan ekstraksi sebanyak 10 kali.



Gambar 3.1 Alat *Planetary Ball Mill Fritsch Pulverisette 5*

Setelah diketahui bahwa terdapat kandungan fasa Fe_3O_4 yang dominan, maka dilakukan proses penggilingan (*milling*) untuk mereduksi ukuran partikel Fe_3O_4 menjadi lebih kecil. Serbuk magnetit (Fe_3O_4) ditimbang seberat 15 gram menggunakan neraca digital. Proses penggilingan dilakukan dengan perbandingan sampel : alkohol : *ball charge* masing-masing sebesar 1:5/3:5 sehingga untuk sampel Fe_3O_4 seberat 15 gram dibutuhkan alkohol sebanyak 25 ml sebagai pelarut serta dibutuhkan *ball charge* seberat 75 gram atau sebanyak 25 bola dengan berat masing-masing 3 gram. Semua bahan dimasukkan ke dalam *vial* atau *jar* (tempat sampel pada alat *ball mill*) yang dipasangkan pada alat *Planetary Ball Mill Fritsch Pulverisette 5* bertemperatur ruang 37° dengan *setting* kecepatan sebesar 150 rpm selama 6 jam, lalu ditekan tombol *milling* untuk memulai proses penggilingan. Setelah proses penggilingan, dilakukan karakterisasi sampel sebelum dicampur. Karakterisasi serbuk magnetit hasil penggilingan dilakukan dengan uji XRF untuk menentukan kandungan unsur dan uji XRD untuk memastikan bahwa fasa yang terbentuk memiliki kandungan fasa Fe_3O_4 yang

dominan. Untuk mengetahui fasa magnetik yang terdeteksi digunakan *software Macth!* dari hasil uji XRD.

3.2.2. Preparasi Sampel Semen Portland tipe 1

Semen yang digunakan adalah semen Portland tipe 1, karena semen tipe ini adalah semen yang paling umum dan paling sering digunakan untuk bangunan. Semen Portland tipe 1 dimortar terlebih dahulu untuk meminimalkan kemungkinan semen yang menggumpal. Sedangkan untuk karakterisasi awal semen, digunakan uji XRF untuk menentukan kandungan unsur dan uji XRD untuk menentukan komposisi fasa semen.

3.2.3. Variasi perbandingan konsentrasi campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1

Setelah diperoleh serbuk magnetit (Fe_3O_4), dilakukan proses pencampuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dengan semen Portland tipe 1 secara mekanik. Pada gambar 3.1 terdapat gambar alat yang digunakan dalam proses pencampuran kedua bahan ini. Dinamo tua berfungsi sebagai motor penggerak yang dihubungkan dengan baterai sebagai sumber tegangan. Dinamo ini dihubungkan dengan suatu wadah yang akan berputar ketika dinamo dialiri arus listrik oleh sumber tegangan. Didalam wadah juga terdapat logam yang dihubungkan dengan dynamo dan berfungsi sebagai alat pengaduk sampel.



Gambar 3.2 Alat pencampur sampel

Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah variasi perbandingan konsentrasi antara serbuk magnetit dan semen Portland untuk mengetahui perbandingan konsentrasi berapakah yang paling efektif sebagai bahan pelapis bangunan penyerap gelombang mikro. Variasi perbandingan konsentrasi serbuk magnetit (Fe_3O_4) : semen Portland tipe 1 yang digunakan adalah 1:5, 1:3, 1:1, 3:1, dan 5:1. Proses pencampuran ini dilakukan selama 15 menit agar kedua bahan tercampur merata dan tidak terjadi penggumpalan.

Pencampuran *mixing* didefinisikan sebagai pencampuran dua atau lebih serbuk yang berbeda. Proses pencampuran antara kedua bahan bertujuan agar kedua bahan tercampur secara homogen dan diharapkan tidak terjadi penggumpalan (*aglomerasi*) kedua material tersebut (Downson, 1990).

3.3 Metode Karakterisasi

3.3.1. Karakterisasi Komposisi Fasa Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1

Karakterisasi dengan uji difraksi sinar-X ini dilakukan untuk mengetahui komposisi fasa, struktur, dan ukuran kristal dari sampel komposit yang diuji. Selain itu, pengujian XDR ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada perubahan fasa ketika kedua bahan dicampurkan. Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik transversal dengan daerah panjang gelombang 0,1-1000 Å yang terdiri dari partikel tak bermuatan (Beiser, 1995). Dalam eksperimen ini digunakan sinar-X monokromatis. Kristal akan memberikan hamburan yang kuat jika arah bidang kristal terhadap berkas sinar-X memenuhi persamaan Bragg, seperti pada persamaan 3.1 (Callister, 2003).

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots 3.1$$

dengan:

n = orde (0, 1, 2, 3, ...)

λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antar bidang kristal

θ = sudut sinar datang

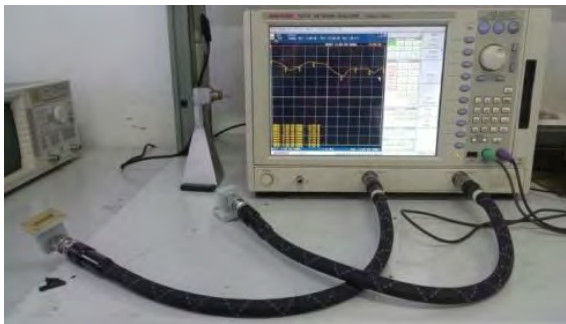
Uji XRD untuk sampel komposit ini dilakukan di Laboratorium XRD jurusan Material Metalurgi FTI ITS. sampel yang diuji berupa serbuk campuran magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland yang telah dicampur. Sampel ditempatkan pada tempat pengujian sampel pada mesin XRD kemudian ditembakkan pada tempat pengujian sampel pada mesin XRD lalu ditembakkan gelombang sinar $\text{Cu-K}\alpha$ pada sampel. Dari hasil uji XRD ini akan diperoleh puncak – puncak difraksi pada posisi 2θ dan intensitas tertentu. Data puncak – puncak tersebut digunakan untuk mengidentifikasi fasa didasarkan pada pencocokan database yang ada pada *software Match!*.

3.3.2. Karakterisasi Sifat Magnetik pada Sampel Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1

Karakterisasi sifat magnetik sampel ini menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dilakukan di Laboratorium zat magnetik bidang zat mampat, BATAN. Sampel yang akan diuji dipreparasi terlebih dahulu hingga mampu dikarakterisasi oleh alat VSM. Pada uji VSM ini didapatkan beberapa informasi yaitu berupa besaran – besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histeresis. Kurva histeresis dari masing-masing sampel berupa medan magnet luar (H) pada sumbu x dan magnetisasi (M) pada sumbu y. Besar atau tidaknya kemagnetan suatu material ditentukan oleh medan koersivitas (H_c). Medan koersivitas merupakan nilai medan magnet luar yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi menjadi nol dengan cara mengembalikan arah dipol magnet. Besarnya medan koersivitas ini menunjukkan sifat kemagnetan suatu material.

3.3.3. Karakterisasi Penyerapan Gelombang Mikro pada Sampel Campuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1

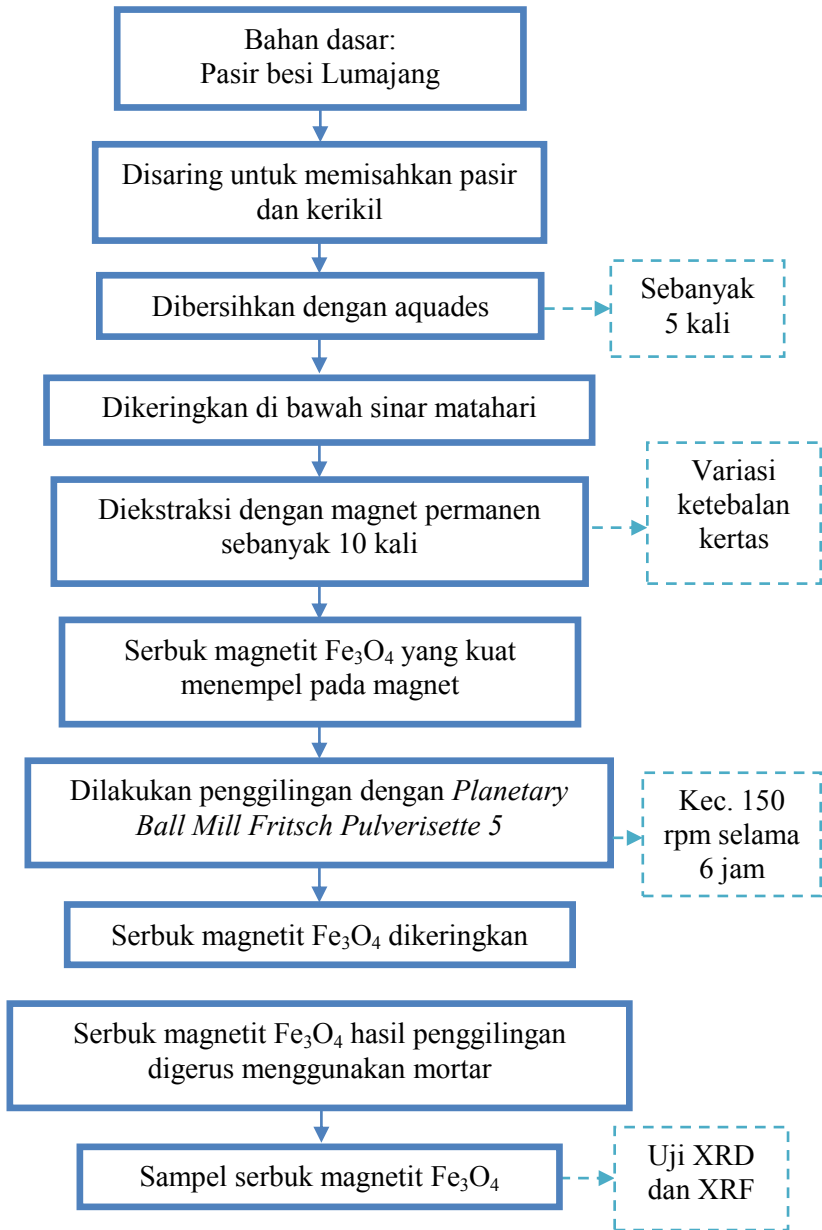
Karakterisasi sifat penyerapan terhadap gelombang mikro ini dilakukan dengan menggunakan Advantest R-3770 VNA (*Vector Network Analyzer*). Pengujian sifat penyerapan gelombang mikro ini dilakukan di Laboraturium PPET (Pusat Penelitian Elektronika Terapan) LIPI, Bandung. Pada saat pengambilan data, sampel diletakkan pada cetakan yang terbuat dari kertas *concor*t dengan ukuran 4 cm x 4 cm dengan ketebalan 2 x 0,3 mm. Sifat absorpsi pada suatu material adalah kemampuan suatu amterial untuk dapat menyerap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh pemancar gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi tertentu. Pada uji VNA ini bertujuan untuk mengukur nilai absorpsi sampel dan nilai *reflection loss* (RL). *Reflection loss* merupakan besarnya redaman yang diakibatkan oleh proses refleksi atau pemantulan gelombang elektromagnetik yang mengenai sampel tersebut. Pada penelitian ini, diperlukan nilai *Reflection Loss* (RL) terhadap gelombang mikro pada rentang frekuensi X-band (8 – 12 GHz) yang merupakan frekuensi dari gelombang radar.



Gambar 3.3 Alat Uji VNA

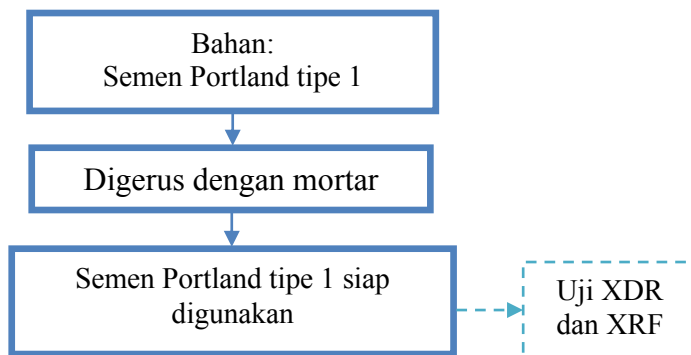
3.4 Diagram Alir

3.4.1 Preparasi Sampel Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi Lumajang



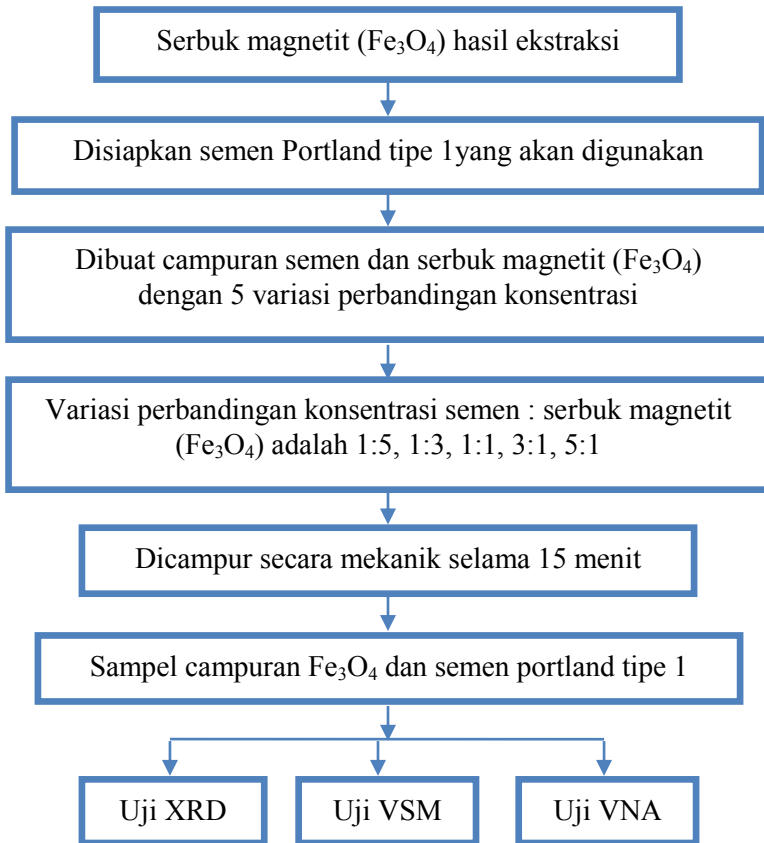
Gambar 3.4 Diagram alir preparasi serbuk magnetit (Fe₃O₄)

3.4.2 Preparasi Sampel Semen Portland tipe 1



Gambar 3.5 Diagram alir preparasi semen Portland tipe 1

3.4.3 Variasi Perbandingan Konsentrasi campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1



Gambar 3.6 Diagram alir variasi perbandingan konsentrasi serbuk magnetit Fe_3O_4 dan semen Portland tipe 1

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas karakterisasi komposisi fasa, sifat magnet, dan penyerapan terhadap gelombang mikro dari sampel campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 dengan variasi perbandingan konsentrasi.

4.1 Preparasi Sampel Pasir Besi Lumajang

4.1.1 Hasil Separasi Serbuk Magnetit dari Pasir Besi Lumajang

Salah satu bahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk magnetit (Fe_3O_4). Gambar 4.1 merupakan pasir besi Lumajang setelah diayak, dicuci banyak 5 kali, dan dikeringkan. Gambar 4.2 adalah proses ekstraksi, sedangkan Gambar 4.3 adalah hasil ekstraksi pasir besi yang mengandung banyak serbuk magnetit (Fe_3O_4). Proses ekstraksi dilakukan untuk memisahkan serbuk magnetit (Fe_3O_4) dengan pengotor yang tidak diperlukan pada penelitian ini. Pasir besi yang banyak mengandung Fe (besi) akan ditarik oleh magnet permanen dan menempel pada kertas. Sehingga didapatkan pasir besi yang memiliki sifat kemagnetan yang tinggi dengan kandungan magnetit yang besar.



Gambar 4.1 Pasir besi Lumajang setelah diayak, dicuci, dan dikeringkan



Gambar 4.2 Proses ekstraksi pasir besi Lumajang



Gambar 4.3 Hasil ekstraksi pasir besi sebanyak 10 kali



Gambar 4.4 Sampel Serbuk Magnetit dalam jar

Gambar 4.4 merupakan sampel magnetit yang digiling. Sampel magnetit (Fe_3O_4) yang didapatkan dari hasil ekstraksi memiliki densitas yaitu sebesar $5,12 \text{ gr/cm}^3$. Bola yang digunakan haruslah mempunyai densitas yang lebih tinggi dibandingkan sampel. Bola yang digunakan pada proses *milling* ini adalah bola zirkon yang memiliki densitas tinggi yaitu $5,70 \text{ gr/cm}^3$, sehingga memenuhi persyaratan untuk proses *milling*. Pada saat sampel magnetit digiling, pergerakan bola akan menyebabkan terjadinya tumbukan antara bola *milling* dan serbuk magnetit dalam jar. Tumbukan oleh bola *milling* akan memberikan beban berulang

pada sampel. Pemberian beban yang berulang menyebabkan material mengalami deformasi plastis, sehingga ukuran partikel akan tereduksi.

4.1.2 Identifikasi Komposisi Unsur Serbuk Magnetit (Fe_3O_4)

Pasir besi Lumajang merupakan bahan alam yang digunakan sebagai bahan dasar pada penelitian ini. Uji XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi kandungan kimia yang ada dalam sampel magnetit. Hasil dari uji XRF sampel magnetit ditunjukkan pada tabel 4.1.

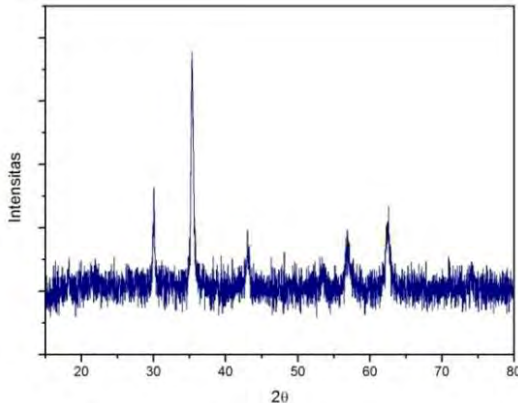
Tabel 4.1 Data hasil uji XRF pasir besi

Unsur	Komposisi
Fe	$78,01 \pm 0,08 \%$
Si	$7,50 \pm 0,03 \%$
Ti	$5,94 \pm 0,04 \%$
Al	$2,40 \pm 0,10 \%$
Ca	$2,04 \pm 0,03 \%$
Bi	$0,67 \pm 0,06 \%$
Eu	$0,63 \pm 0,09 \%$
V	$0,60 \pm 0,05 \%$
Mn	$0,48 \pm 0,02 \%$
K	$0,47 \pm 0,01 \%$
Rb	$0,44 \pm 0,007 \%$
Re	$0,30 \pm 0,06 \%$
P	$0,02 \pm 0,01 \%$
Ni	$0,12 \pm 0,0096 \%$
Cr	$0,09 \pm 0,005 \%$
Cu	$0,08 \pm 0,006 \%$
Zn	$0,07 \pm 0,02 \%$
Yb	$0,02 \pm 0,01 \%$

Senyawa Fe yang ada di alam bebas akan membentuk senyawa oksida utama diantaranya Fe_3O_4 (magnetit), $\alpha\text{-Fe}_3\text{O}_4$ (hematit), $\beta\text{-Fe}_3\text{O}_4$ (maghenit) dan $\text{Fe}_{3-x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ (titanomagnetite) (Lestari, 2015). Dari hasil uji XRF yang telah dilakukan, besi (Fe) merupakan unsur yang paling dominan dan mempunyai prosentase yang paling besar yaitu $78,01 \pm 0,08 \%$. Namun, pada hasil uji juga ditemukan pengotor lain seperti Si, Ti, Al, Ca, Bi, Eu, V, Mn, K, dll. Karena pasir besi yang diuji adalah bahan alam, maka pengotor yang terkandung di dalamnya bersifat normal karena bahan alam yang digunakan belum diproses sebelum digunakan dalam penelitian.

4.1.3 Identifikasi Komposisi Fasa Serbuk Magnetit (Fe_3O_4)

Serbuk magnetit dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui kandungan fasa yang terdapat pada sampel. Posisi puncak dengan intensitas terbesar yaitu pada sudut difraksi (2θ) sebesar $30,04^\circ$; $35,36^\circ$; $43,00^\circ$; $56,89^\circ$; dan $62,54^\circ$.



Gambar 4.5 Pola XRD (Cu-K α) sampel magnetit (Fe_3O_4)

Berdasarkan analisa kualitatif menggunakan *software Match!*, diperoleh bahwa data puncak difraksi hasil uji XRD sampel memiliki kecocokan dengan fasa *magnetite* (Fe_3O_4)

dengan kode PDF #00-079-0417. Puncak – puncak difraksi yang dimiliki oleh fasa magnetit (Fe_3O_4) memiliki beberapa indeks Miller (220), (311), (400), (440), (511) yang merupakan indeks khas struktur kubik spinel dari bahan Fe_3O_4 (Nuzully, 2013). Data yang didapatkan dari analisa *Match!* berupa grup ruang yaitu $\text{Fd}3\text{m}$ yang menunjukkan bahwa sampel memiliki stuktur kristal kubik dengan nilai parameter kisi sebesar 8,3941 Å.

Tabel 4.2 Posisi 2θ dari puncak difraksi magnetit (PDF #00-079-0417)

No	Posisi (2θ)	Bidang Kristal (hkl)
1	18,26	(111)
2	30,04	(220)
3	35,36	(311)
4	36,98	(222)
5	43,00	(400)
6	47,15	(331)
7	53,38	(422)
8	56,89	(333)
9	62,54	(440)
10	65,75	(531)
11	71,06	(620)
12	74,03	(533)
13	74,99	(622)
14	79,05	(444)

4.2 Preparasi Sampel Semen Portland Tipe 1

Semen Portland yang digunakan adalah semen Portland tipe 1, karena tipe 1 dapat digunakan secara luas sebagai semen untuk teknik sipil dan konstruksi arsitektur. Gambar 4.6 merupakan hasil dari penggerusan semen Portland tipe 1.



Gambar 4.6 Semen Portland 1 yang telah dimortar

4.2.1. Identifikasi Komposisi Unsur Semen Portland Tipe 1

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian XRF semen untuk mengetahui komposisi unsur pada sampel Portland tipe 1.

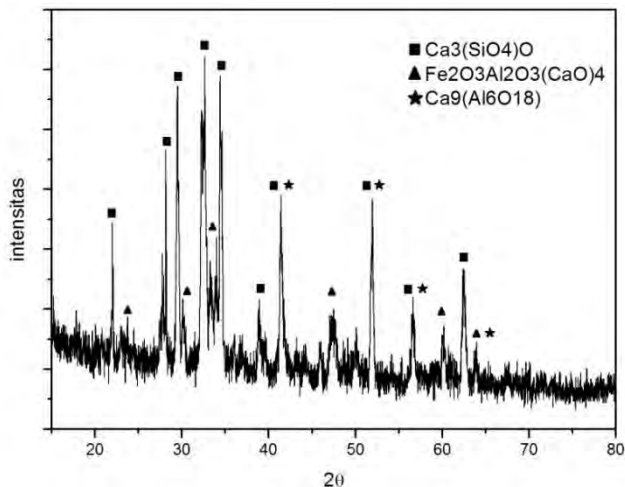
Tabel 4.3 Data hasil uji XRF semen Portland tipe 1

Unsur	Komposisi
Ca	$78,07 \pm 1,36 \%$
Fe	$8,16 \pm 0,27 \%$
Si	$7,08 \pm 0,06 \%$
Al	$1,80 \pm 0,01 \%$
In	$1,90 \pm 0,40 \%$
Mo	$0,90 \pm 0,90 \%$
K	$0,71 \pm 0,08 \%$
S	$0,69 \pm 0,31 \%$
Ti	$0,47 \pm 0,01 \%$
Sr	$0,26 \pm 0,01 \%$
Ba	$0,20 \pm 0,04 \%$
Ni	$0,17 \pm 0,01 \%$
Mn	$0,14 \pm 0,02 \%$
Eu	$0,12 \pm 0,05 \%$
V	$0,03 \pm 0,008 \%$

Pada tabel 4.3 diketahui bahwa unsur yang paling dominan adalah Kalsium (Ca) yaitu 78,07%. Hal ini dikarenakan bahan baku utama dalam pembuatan semen adalah batu kapur. Selain itu, juga terdapat unsur yang cukup besar prosentasenya yaitu Besi (Fe) dan Silika (Si). Pada proses pembuatan semen Portland, batu kapur dicampur dengan tanah liat, pasir besi, dan pasir silika (Botahala, 2013).

4.2.2. Identifikasi Komposisi Fasa Semen Portland Tipe 1

Pada penelitian ini, pengujian difraktometer sinar-X (XRD) dilakukan untuk mengetahui komposisi fasa yang terkandung didalam sampel semen Portland. Gambar 4.7 menunjukkan puncak – puncak difraksi yang dimiliki oleh sampel semen Portland tipe 1.



Gambar 4.7 Pola XRD (Cu-K α) sampel semen Portland tipe 1

Hasil identifikasi fasa menunjukkan bahwa semen Portland memiliki beberapa fasa yaitu $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$ yang memiliki kecocokan dengan PDF kode #00-073-0599, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CaO})_4$

yang memiliki kecocokan dengan PDF kode #00-074-0803, serta $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$ yang memiliki kecocokan dengan PDF kode #00-070-0839. Posisi dari puncak-puncak difraksi dan bidang kristal yang dimiliki setiap fasa ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Posisi 2 θ dari puncak difraksi semen portland (PDF #00-073-0599, #00-074-0803, dan #00-070-0839)

No	Posisi (2 θ)	Bidang Kristal (hkl)		
		$\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CaO})_4$	$\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$
1	22,95	(0 2 1)		
2	23,19		(1 0 1)	
3	27,41	(1 1 3)		
4	29,49	(0 2 1)		
5	29,64		(1 3 1)	
6	32,64	(0 2 4)		
7	33,97		(1 4 1)	
8	34,40	(2 0 5)		
9	38,94	(1 0 10)		
10	41,37	(2 0 8)		
11	41,44			(4 4 4)
12	47,17		(2 0 2)	
13	51,90	(2 2 0)		(8 3 0)
14	56,64	(0 2 13)		(6 6 4)
15	60,17		(1 4 3)	
16	63,93		(3 3 2)	(10 3 1)

Komponen utama dalam pembuatan semen adalah oksida kapur (CaO), oksida silika (SiO_2), oksida alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3) (Marzuki, 2007). Dari data hasil analisa *Match!* diperoleh bahwa fasa $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$ memiliki prosentase sebesar

67,8%, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CaO})_4$ sebesar 22,5%, dan $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$ sebesar 9,6 %.

4.3 Pencampuran Serbuk Magnetit (Fe_3O_4) dan Semen Portland tipe 1

Variasi perbandingan konsentrasi antara serbuk magnetit dan semen portland adalah 1:5, 1:3, 1:1, 3:1, dan 5:1. Gambar 4.8 merupakan hasil dari pencampuran kedua sampel.

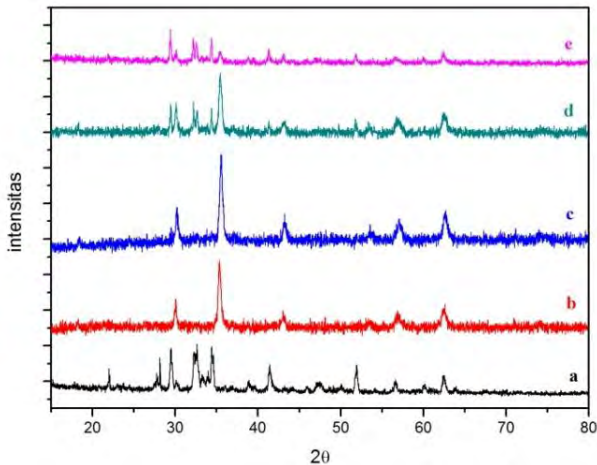


Gambar 4.8 Sampel campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1

4.3.1. Identifikasi Komposisi Fasa Campuran Serbuk Magnetit dan Semen Portland Tipe 1

Pada penelitian ini, pengujian difraktometer sinar-X (XRD) dilakukan untuk mengetahui komposisi fasa yang terkandung didalam sampel. Gambar 4.8 ditunjukkan puncak – puncak difraksi yang dimiliki oleh sampel hasil pencampuran serbuk magnetit dan semen Portland setelah diuji XRD. Fasa yang terbentuk pada saat kedua bahan ini tercampur adalah gabungan antara fasa yang dimiliki pasir besi dan fasa yang dimiliki semen Portland. Pada gambar 4.9 (c) yaitu dengan perbandingan serbuk magnetit yang lebih banyak, diperoleh puncak yang hampir sama dengan gambar 4.9 (b) yang merupakan sampel magnetit. Hal ini dikarenakan pada sampel (c) konsentrasi serbuk magnetit lebih banyak yaitu 5:1. Pada gambar

4.9 (d) yaitu dengan perbandingan konsentrasi yang sama antara serbuk magnetit dan semen Portland, dapat dilihat bahwa adanya puncak – puncak difraksi yang sama seperti puncak difraksi semen Portland yaitu pada posisi 2θ sebesar $32,64^\circ$; $34,40^\circ$; $41,37^\circ$; dan $51,90^\circ$. Selain itu juga terdapat puncak – puncak difraksi yang khas dari sampel magnetit, yaitu pada posisi 2θ sebesar $30,04^\circ$; $35,36^\circ$; $43,00^\circ$; $56,89^\circ$; dan $62,54^\circ$. Sedangkan pada gambar 4.9 (e) yaitu dengan perbandingan konsentrasi semen lebih banyak, puncak – puncak difraksi yang dimiliki oleh fasa – fasa semen Portland lebih jelas terlihat. Konsentrasi serbuk magnetit yang sedikit menyebabkan puncak – puncak difraksi fasa serbuk magnetit pada gambar 4.9 (e) tidak dominan.



Gambar 4.9 Pola XRD ($\text{Cu-K}\alpha$) secara berurutan dari bawah:

- (a) semen Portland tipe 1, (b) serbuk magnetit (Fe_3O_4), (c) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 5:1, (d) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 1:1, dan (e) perbandingan serbuk magnetit dan semen Portland 1:5

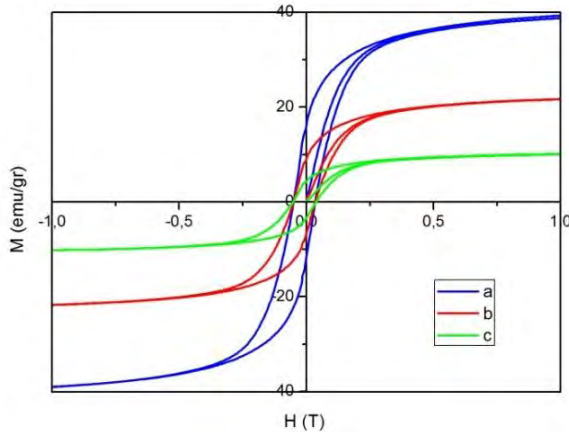
Pengujian XRD ini juga untuk mengetahui bahwa apakah akan terbentuk fasa lain ketika serbuk magnetit dan semen Portland dicampur. Setelah dilihat pada hasil analisa kualitatif

oleh *software MacTh!* didapatkan hasil bahwa fasa yang terbentuk setelah kedua bahan dicampur adalah fasa – fasa yang dimiliki oleh serbuk magnetit dan semen Portland yaitu Fe_3O_4 , $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Al}_2\text{O}_3(\text{CaO})_4$, dan $\text{Ca}_9(\text{Al}_6\text{O}_{18})$. Hal ini ditunjukkan oleh tidak munculnya puncak baru setelah kedua bahan dicampur yang berarti bahwa tidak adanya reaksi antara kedua sampel.

4.4 Analisis Sifat Kemagnetan Campuran Serbuk Magnetit dan Semen Portland Tipe 1

Karakterisasi sifat kemagnetan sampel campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 menggunakan uji (*Vibrating Sample Magnetometer*) VSM. Gambar 4.10 menunjukkan kurva histeresis dari sampel campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1 yang tidak berbentuk garis lurus. Pada gambar dapat dilihat bahwa setiap kenaikan harga H , maka nilai M juga naik dan menuju nilai jenuh atau saturasi magnetik (M_s). Saturasi magnetik merupakan keadaan dimana terjadi kejenuhan yang ditandai dengan nilai medan magnet yang selalu konstan walaupun nilai medan magnet luar naik atau semakin besar. Kondisi saturasi magnetik terjadi ketika tidak adanya momen dipol yang berlawanan dengan arah medan yang diberikan. Besarnya nilai saturasi magnetik menunjukkan kemampuan partikel untuk mempertahankan arah domain-domain magnetiknya pada saat dikenai medan magnet luar. Domain magnetik merupakan kumpulan dipol-dipol magnet yang memiliki arah yang sama. Jika medan magnet luar dikurangi hingga nilainya nol, maka masih terdapat sisa magnetisasi atau remanensi magnetik (M_r). Kemudian saat nilai medan luar negatif, maka akan melewati medan magnet yang bernilai nol. Ketika medan magnet nol terjadi kehilangan medan magnet atau demagnetisasi. Nilai medan luar yang memotong medan magnet dititik nol inilah yang disebut dengan medan

koersivitas (H_c). Kemudian akan terbentuk satu lintasan grafik loop tertutup yang disebut dengan kurva histeresis.



Gambar 4.10 Kurva histeresis sampel pada saat perbandingan konsentrasi serbuk magnetit dan semen Portland secara berurutan: (a) 5 : 1, (b) 1 : 1, dan (c) 1 : 5

Gambar 4.10 menunjukkan tiga kurva histeresis yang berbeda nilai saturasi magnetiknya. Semakin besar nilai magnetisasi saturasi, maka material tersebut memiliki sifat magnetik yang semakin kuat. Pada Gambar 4.10 (a) yaitu pada saat serbuk magnetit (Fe_3O_4) dengan perbandingan yang lebih besar dari pada semen Portland menyebabkan sampel ini memiliki sifat magnet yang paling besar dengan nilai saturasi magnetik 38,74 emu/gr. Hal ini berarti kemampuan partikel untuk mempertahankan arah domain-domain magnetiknya sangat besar, sehingga medan magnet luar cukup member pengaruh pada domain-domain magnet tersebut. Maka diperlukan medan magnet luar yang besar pula untuk menyearahkan domain-domain tersebut agar searah dengan medan magnet yang diberikan. Pada gambar 4.10 (c) yaitu dengan konsentrasi serbuk magnetit yang lebih kecil dari pada semen Portland, sehingga domain-domain magnetik yang dimiliki sampel lebih sedikit dan

akan lebih mudah untuk disearahkan oleh medan magnet yang diberikan. Hal ini membuat nilai saturasi magnetik yang kecil yaitu sebesar 4,33 emu/gr.

Tabel 4.5 Besar medan saturasi (M_s) dan medan koersivitas (H_c) sampel campuran serbuk magnetit : semen Portland tipe 1

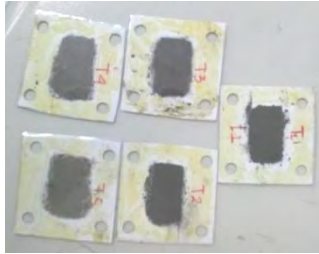
Serbuk Magnetit : Semen Portland	M_s (emu/gr)	M_r (emu/gr)	H_c (Tesla)
5 : 1	38,74	16,24	0,049
1 : 1	21,67	9,50	0,049
1 : 5	10,09	4,33	0,052

Medan koersivitas merupakan besaran yang sangat penting, karena semakin tinggi nilai medan koersivitas maka semakin kuat sifat magnetik suatu material (Mawasah, 2015). Dari kurva histeresis hasil uji VSM ketiga sampel, didapatkan nilai medan koersivitas yang tidak sesuai dengan teori yaitu untuk sampel dengan jumlah serbuk magnetit lebih banyak mempunyai nilai medan koersivitas sebesar 0,049 T. Sedangkan nilai remanensi magnetik (M_r) adalah sisa magnetisasi yang dimiliki oleh material saat tidak dipengaruhi oleh medan luar ($H=0$). Semakin besar nilai remanensi magnetik, maka semakin besar pula medan koersivitasnya karena akan semakin besar medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan remanen magnetiknya didalam suatu bahan. Maka semakin besar nilai remanensi magnetik, akan semakin besar sifat kemagnetan suatu material. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian ketiga sampel, bahwa ketika konsentrasi serbuk magnetik lebih banyak diperoleh remanensi magnetik yang besar yaitu 16,24 emu/gr.

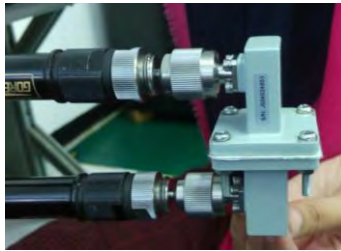
4.5 Sifat Penyerapan Gelombang Mikro pada X-Band Menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA)

Karakterisasi sifat penyerapan terhadap gelombang mikro pada sampel campuran serbuk magnetit (Fe_3O_4) dan semen Portland tipe 1 menggunakan uji VNA. Gambar 4.11 merupakan

kelima sampel campuran kedua bahan dengan variasi konsentrasi, sedangkan Gambar 4.12 merupakan proses pengujian yaitu sampel diletakkan diantara pemancar dan penerima gelombang mikro.



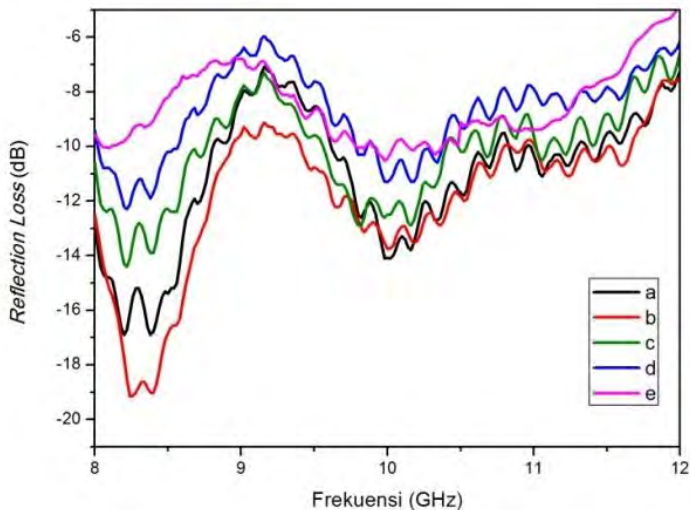
Gambar 4.11 Sampel yang akan diuji VNA



Gambar 4.12 Proses pengujian VNA

Sifat penyerapan gelombang dapat dilihat berdasarkan nilai *reflection loss*-nya yang dipengaruhi oleh sifat karakteristik bahan uji. Semakin besar nilai *reflection loss*, maka bahan tersebut termasuk bahan penyerap gelombang yang baik. Penyerapan gelombang mikro terdiri dari dua komponen, yaitu penyerapan dielektrik dan penyerap magnetik. Pada penelitian ini, salah satu bahan dasar yang digunakan adalah bahan magnetik yaitu pasir besi karena memiliki sifat magnetik yang tinggi dan memiliki nilai saturasi magnetik yang cukup besar, berfungsi untuk memperlebar jangkauan frekuensi penyerapan. Bahan penyerap gelombang yang berbasis bahan magnetik akan menghasilkan permeabilitas yang tinggi sehingga jangkauan

gelombang elektromagnetik yang diserap akan lebih luas. Ukuran sampel orde mikro merupakan bahan magnetik yang mempunyai sifat menyerap yang terkandung dalam sampel magnetit. Permukaan partikel sebagai media pertama yang mengalami interaksi dengan gelombang mikro, maka luas permukaan mempengaruhi energi gelombang mikro yang diserap oleh kopling spin magnetik (Mashuri, 2012). Pada penelitian ini juga digunakan semen Portland sebagai campuran serbuk magnetit untuk mendukung pemanfaatannya sebagai bahan pelapis permukaan bangunan. Dalam hal penyerapan gelombang mikro, semen Portland memiliki peran yang tidak cukup besar jika dibandingkan dengan bahan magnetit. Pada sampel semen yang telah dikarakterisasi dengan uji XRF diketahui bahwa terdapat unsur besi (Fe) yang merupakan bahan magnetik, akan tetapi komposisi Fe pada semen tidaklah dominan yaitu sebesar 8,16 %.



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara frekuensi dan *reflection loss* pada saat perbandingan konsentrasi serbuk magnetit dan semen Portland secara berurutan: (a) 5 : 1, (b) 3 : 1, (c) 1 : 1, (d) 3 : 1, dan (e) 5 : 1

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa penurunan nilai *reflection loss* terjadi pada rentang frekuensi yang hampir sama walaupun nilai *reflection loss* berbeda. Sifat magnetik pada bahan serbuk magnetit sangat berpengaruh dalam penyerapan gelombang mikro, hal ini mengakibatkan jumlah konsentrasi serbuk magnetit sangat mempengaruhi nilai *reflection loss* pada setiap sampel. Pada tabel 4.5 dapat dilihat penyerapan maksimum terjadi pada rentang frekuensi yang hampir sama, yaitu pada 8-9,16 GHz. Penyerapan maksimal dengan nilai *reflection loss* tertinggi terjadi pada sampel dengan perbandingan konsentrasi 3 : 1 (serbuk magnetit : semen Portland) yaitu -19,15 dB dengan rentang frekuensi 8,00-9,16 GHz pada frekuensi maksimum 8,24 GHz. Sedangkan pada rentang frekuensi yang sama, penyerapan minimum terjadi pada sampel dengan perbandingan konsentrasi 1 : 5 (serbuk magnetit : semen Portland) yaitu -10,05 dB pada frekuensi maksimum 8,08 GHz. Sehingga pada frekuensi X-band dengan rentang frekuensi 8,08-8,24 GHz terjadi penyerapan gelombang mikro yang ditunjukkan oleh rentang nilai *reflection loss* dari -10,05 dB sampai -19,15 dB. Nilai negatif pada *reflection loss* menunjukkan bahwa material tersebut mampu menyerap gelombang mikro. Penyerapan gelombang mikro pada sampel dapat dilihat berdasarkan nilai *reflection loss*, semakin besar nilai negatif *reflection loss* maka semakin besar daya serap bahan terhadap gelombang mikro (Linda, 2012).

Bahan magnetik dapat menyerap gelombang mikro karena adanya kandungan momen dipol magnetik yang saling berinteraksi dan berpindah dari tingkat energi rendah ke energi tinggi, sehingga apabila gelombang mikro datang mengenai sampel magnetik maka akan diserap dan dirubah bentuknya menjadi energi yang dibutuhkan dipol magnetik untuk berpindah keadaan (Mashuri, 2012). Perpindahan keadaan ini berupa perputaran arah dipol magnet dengan menggunakan energi yang didapatkan dari energi gelombang mikro yang datang. Oleh

karena itu, melalui proses tersebut energi yang dipantulkan dapat diminimumkan (Mawasah, 2015). Sehingga gelombang mikro yang dipantulkan memiliki energi yang lebih rendah.

Hal ini berarti ketika konsentrasi sampel magnetik lebih banyak, maka seharusnya lebih banyak kandungan momen dipol yang ada pada sampel uji. Jika momen dipol magnetik lebih banyak, maka akan lebih banyak gelombang mikro yang diserap dan dirubah menjadi energi yang dibutuhkan oleh momen dipol.

Tabel 4.6 Parameter serapan gelombang mikro dengan variasi perbandingan konsentrasi antara serbuk magnetit dan semen Portland

Sampel Serbuk Magnetit : Semen Portland	RL maksimal	Frekuensi Pas, f_m (GHz)	Lebar Pita (GHz) $f_1 - f_2$
5 : 1	-16,90	8,38	8,00 - 9,16
	-14,10	10,00	9,16 - 10,80
	-11,10	11,06	10,80 - 12,00
3 : 1	-19,15	8,24	8,00 - 9,16
	-13,76	10,00	9,16 - 10,82
	-11,10	11,24	10,82 - 12,00
1 : 1	-14,40	8,22	8,00 - 9,16
	-12,90	10,16	9,16 - 10,94
	-10,30	11,22	10,94 - 12,00
1 : 3	-12,10	8,24	8,00 - 9,16
	-11,30	10,16	9,16 - 10,96
	-8,55	11,24	10,96 - 12,00
1 : 5	-10,05	8,08	8,00 - 8,96
	-10,53	9,98	8,96 - 10,10
	-10,29	10,32	10,10 - 12,00

Akan tetapi, pada hasil pengujian VNA dari kelima sampel uji diperoleh hasil nilai *reflection loss* yang terbesar terjadi pada sampe dengan perbandingan 3 : 1 (serbuk magnetit : semen portland) yaitu memiliki nilai *reflection loss* sebesar -19,15 dB pada frekuensi maksimum 8,24 GHz. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pencampuran antara serbuk magnetit dan semen portland yang kurang merata atau terjadi pengumpalan pada sampel uji, sehingga menyebabkan gelombang mikro yang datang tidak diserap dengan maksimal.

Tabel 4.7 Analogi nilai *reflection loss* pada sampel uji

Sampel Serbuk Magnetit : Semen Portland	RL	Log (Γ)	$\Gamma = \frac{(Z_{in} - Z_0)}{(Z_{in} + Z_0)}$	I_{keluar} (%) (pantul)	I_{masuk} (%) (terus +serap)
5 : 1	-16,90	-0,85	0,14	14,29	85,71
3 : 1	-19,15	-0,96	0,11	11,03	88,97
1 : 1	-14,40	-0,72	0,19	19,05	80,95
1 : 3	-12,10	-0,61	0,25	24,83	75,17
1 : 5	-10,53	-0,53	0,30	29,75	70,25

Tabel 4.7 merupakan hasil perhitungan persamaan *reflection loss* (RL) seperti pada persamaan 2.1 memberikan arti pada nilai RL sebesar -20 dB, bahwa 100% gelombang mikro yang diterima material akan direfleksikan sebesar 10% dan 90 % yang lain akan diserap serta diteruskan oleh material. Pada hasil uji VNA sampel campuran antara serbuk magnetit dan semen portland diperoleh perhitungan I_{keluar} (dipantulkan) dan I_{masuk} (diteruskan dan diserap) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7. Berdasarkan perhitungan pada tabel 4.7, I_{masuk} atau gelombang mikro yang diserap dan diteruskan terbesar terjadi pada sampel dengan perbandingan konsentrasi 3 : 1 (Serbuk Magnetit : Semen Portland) yaitu sebesar 88,97 (%). Menurut persamaan 2.1,

koefisien refleksi (Γ) akan bernilai nol jika nilai permeabilitas relatif sama dengan nilai permitivitas relatif ($\mu_r = \epsilon_r$) yang menyebabkan nilai $Z_{in} = 1$ dan nilai koefisien refleksi sama dengan nol. Besarnya nilai koefisien refleksi menunjukkan seberapa besar gelombang mikro yang dipantulkan oleh sampel uji. Jika nilai koefisien refleksi adalah nol, maka seluruh gelombang mikro yang datang akan diserap atau diteruskan oleh material (Fitrothul, 2012)

Sampel magnetit yang dicampur dengan semen portland tipe 1 ini untuk memaksimalkan aplikasi dari penelitian ini yaitu sebagai bahan pelapis bangunan yang bisa menyerap gelombang mikro. Dari segi sipil, perbandingan antara pasir dan semen yang paling baik adalah 3 : 1 dengan konsentrasi pasir yang lebih dominan. Karena jika terlalu banyak pasir pada campuran, maka akan mengakibatkan ikatan antar partikel pada campuran tidak akan maksimal. Karena fungsi semen pada pelapis dinding bangunan adalah sebagai pengikat dan perekat agar lapisan dinding tahan lama.

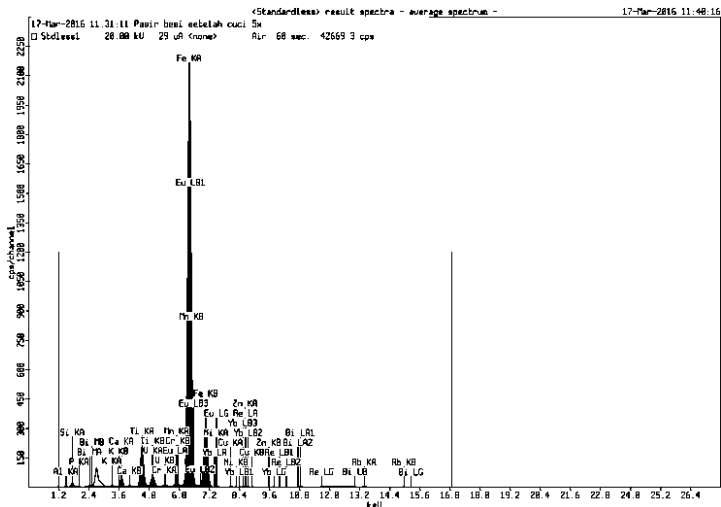
Ketebalan lapisan dinding batako yang ideal adalah 2 cm dengan perbandingan komposisi adukan semen Portland dan pasir adalah 1 : 3. Pada keadaan lembab, atau pada lingkungan yang sering terkena air, konsentrasi semen lebih diperbanyak untuk mengurangi resapan air oleh dinding (Susanta, 2012). Sehingga untuk mengoptimalkan fungsi bahan lapisan bangunan agar dapat menyerap gelombang mikro, maka dapat digunakan perbandingan 3:1 (serbuk magnetit : semen Portland) dengan tetap memaksimalkan segi kualitas lapisan bangunan agar tetap kokoh.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

HASIL XRF PASIR BESI DAN SEMEN PORTLAND

1. Hasil XRF pasir besi setelah *ball-mill*



17-Mar-2016 11:39:50

Sample results - Averages

Page 1

Sample ident
Pasir besi setelah cuci 5x

Application	<Standardless>
Sequence	Average of 3
Measurement period - start	17-Mar-2016 11:18:54
Measurement period - end	17-Mar-2016 11:31:11
Position	3

Compound	Al	Si	P	K	Ca	Ti
Conc	2.4 +/- 0.1	7.5 +/- 0.03	0.2 +/- 0.01	0.47 +/- 0.01	2.04 +/- 0.03	5.84 +/- 0.04
Unit	%	%	%	%	%	%

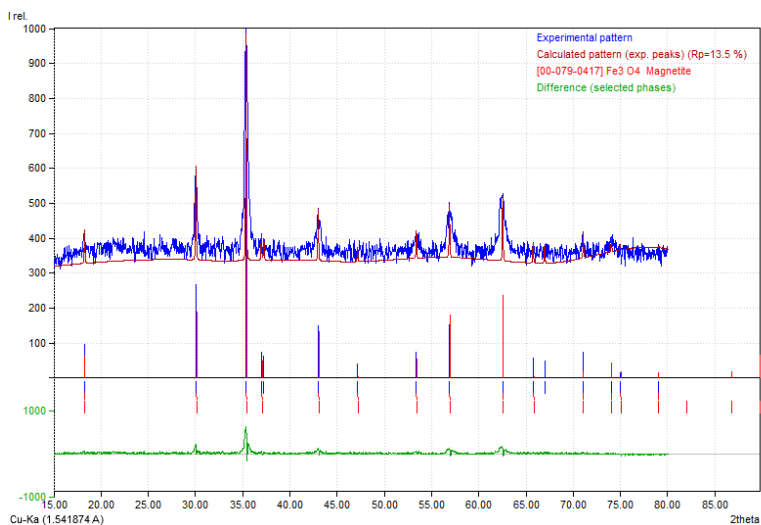
Compound	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Conc	0.60 +/- 0.05	0.095 +/- 0.005	0.48 +/- 0.02	78.01 +/- 0.08	0.12 +/- 0.0096	0.083 +/- 0.006
Unit	%	%	%	%	%	%

Compound	Zn	Rb	Eu	Re	Yb	Bi
Conc	0.07 +/- 0.02	0.44 +/- 0.007	0.63 +/- 0.09	0.3 +/- 0.06	0.02 +/- 0.01	0.67 +/- 0.06
Unit	%	%	%	%	%	%

LAMPIRAN B

HASIL ANALISA *MATCH* DARI UJI XRD

1. Analisa *Match!* dari XRD pasir besi setelah *ball-mill*



Matched Phases

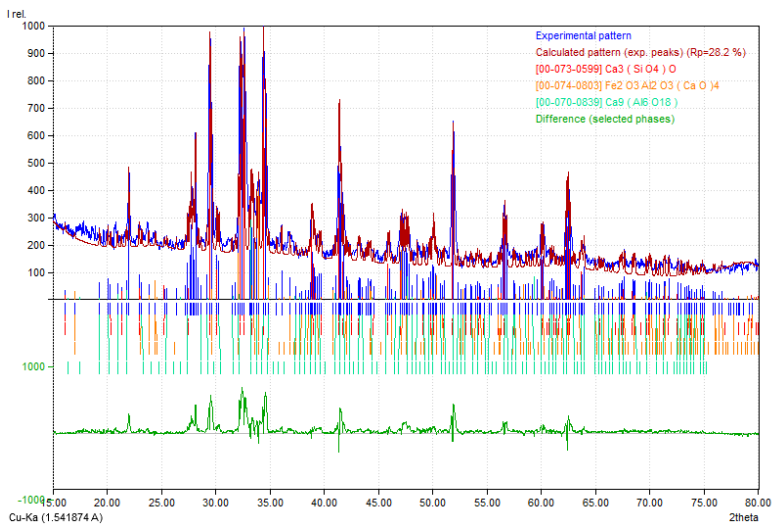
Index	Amount (%)	Name
A	100.0	Magnetite

Formula sum
Fe ₃ O ₄

A: Magnetite (100.0 %)

Formula sum	Fe ₃ O ₄
Entry number	00-079-0417
Figure-of-Merit (FoM)	0.954734
Total number of peaks	17
Peaks in range	17
Peaks matched	14
Intensity scale factor	0.65
Space group	Fd-3m
Crystal system	Fd-3m
Unit cell	a= 8.3941 Å
I/I _{cor}	5.15
Calc. density	5.199 g/cm ³
Reference	, "", Calculated from ICSD using POWD-12++ 62, 75 (1997)

2. Analisa *Match!* dari XRD semen Portland tipe 1



Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	67.5		Ca3 (Si O4) O
B	23.2		Fe2 O3 Al2 O3 (Ca O)4
C	9.4		Ca9 (Al6 O18)

A: Ca3 (Si O4) O (67.5 %)	
Formula sum	Ca3 (Si O4) O
Entry number	00-073-0599
Figure-of-Merit (FoM)	0.887357
Total number of peaks	105
Peaks in range	103
Peaks matched	72
Intensity scale factor	0.82
Space group	R3m
Crystal system	R3m
Unit cell	a= 7.0567 Å
I/lor	1.28
Calc. density	3.168 g/cm³
Reference	, ¹ , Calculated from ICSD using POWD-12++ 281, 332 (1997)

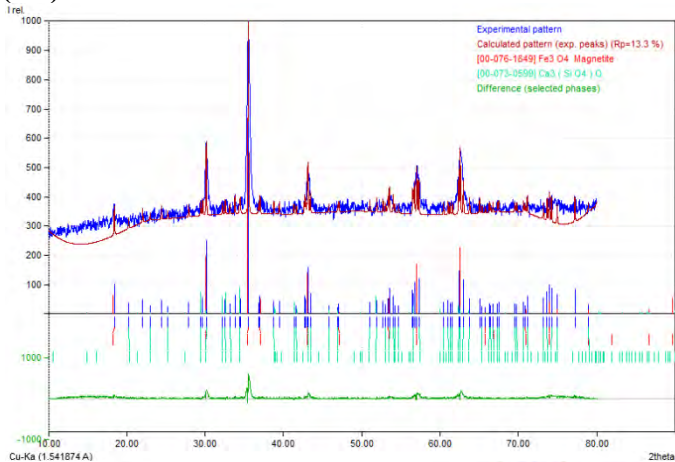
B: Fe₂O₃ Al₂O₃ (CaO)₄ (23.2 %)

Formula sum	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ (CaO) ₄
Entry number	00-074-0803
Figure-of-Merit (FoM)	0.830785
Total number of peaks	151
Peaks in range	150
Peaks matched	91
Intensity scale factor	0.41
Space group	Pcmn
Crystal system	Pcmn
Unit cell	a= 5.5800 Å
I/ cor	1.87
Calc. density	3.735 g/cm ³
Reference	, "", Calculated from ICSD using POWD-12++ 12, 149 (1997)

C: Ca₉ (Al₆O₁₈) (9.4 %)

Formula sum	Ca ₉ (Al ₆ O ₁₈)
Entry number	00-070-0839
Figure-of-Merit (FoM)	0.840861
Total number of peaks	113
Peaks in range	109
Peaks matched	82
Intensity scale factor	0.29
Space group	Pa-3
Crystal system	Pa-3
Unit cell	a= 15.2630 Å
I/ cor	3.27
Meas. density	3.010 g/cm ³
Calc. density	3.028 g/cm ³
Reference	, "", Calculated from ICSD using POWD-12++ 31, 689 (1975)

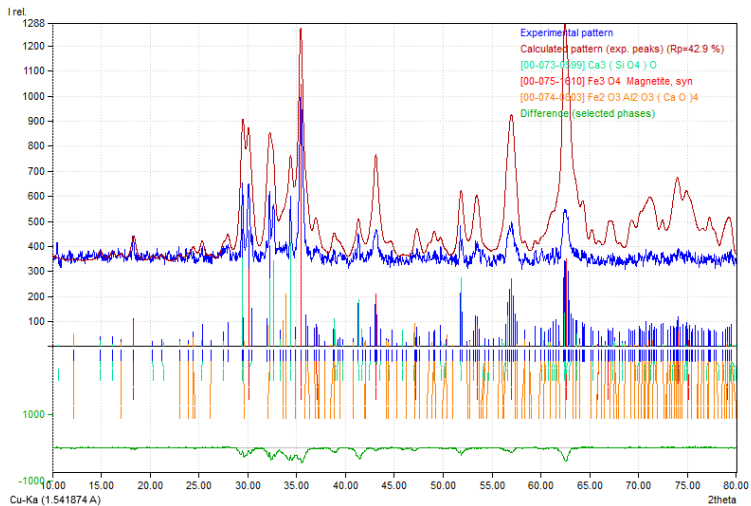
3. Analisa *Match!* dari XRD campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1 dengan perbandingan konsentrasi (5:1)



Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	68.2	Magnetite	Fe3 O4
B	31.8		Ca3 (Si O4) O
A: Magnetite (68.2 %)			
Formula sum		Fe3 O4	
Entry number		00-076-1849	
Figure-of-Merit (FoM)		0.842137	
Total number of peaks		18	
Peaks in range		17	
Peaks matched		15	
Intensity scale factor		0.67	
Space group		Fd-3m	
Crystal system		Fd-3m	
Unit cell		a= 8.4000 Å	
I/lor		4.95	
Calc. density		5.188 g/cm³	
Reference		, **, Calculated from ICSD using POWD-12++ 38, 482 (1997)	
B: Ca3 (Si O4) O (31.8 %)			
Formula sum		Ca3 (Si O4) O	
Entry number		00-073-0599	
Figure-of-Merit (FoM)		0.800335	
Total number of peaks		105	
Peaks in range		102	
Peaks matched		50	
Intensity scale factor		0.09	
Space group		R3m	
Crystal system		R3m	
Unit cell		a= 7.0567 Å	
I/lor		1.28	
Calc. density		3.168 g/cm³	
Reference		, **, Calculated from ICSD using POWD-12++ 281, 332 (1997)	

4. Analisa *Match!* dari XRD campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1 dengan perbandingan konsentrasi (1:1)



Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	51.5		Ca ₃ (Si O ₄) O
B	33.6	Magnetite, syn	Fe ₃ O ₄
C	14.9		Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ (Ca O) ₄

A: Ca₃ (Si O₄) O (51.5 %)

Formula sum	Ca ₃ (Si O ₄) O
Entry number	00-073-0599
Figure-of-Merit (FoM)	0.850709
Total number of peaks	105
Peaks in range	104
Peaks matched	84
Intensity scale factor	0.42
Space group	R3m
Crystal system	R3m
Unit cell	a= 7.0567 Å
I/σ	1.28
Calc. density	3.168 g/cm ³
Reference	, **, Calculated from ICSD using POWD-12++ 281, 332 (1997)

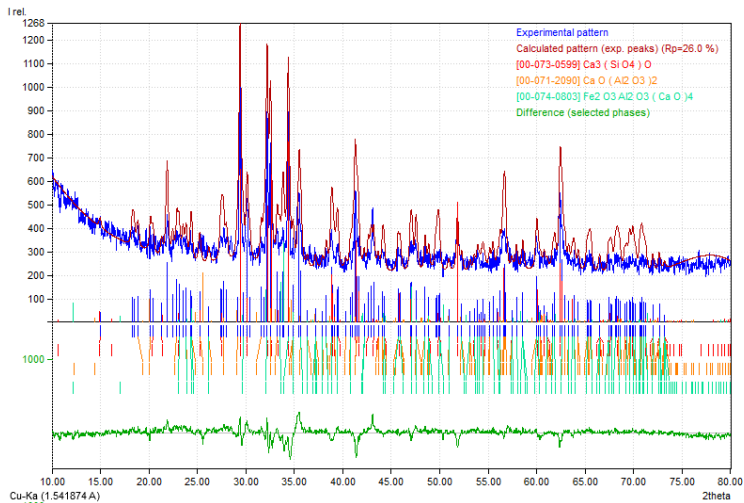
B: Magnetite, syn (33.6 %)

Formula sum	Fe ₃ O ₄
Entry number	00-075-1610
Figure-of-Merit (FoM)	0.853162
Total number of peaks	18
Peaks in range	18
Peaks matched	15
Intensity scale factor	1.05
Space group	Fd-3m
Crystal system	Fd-3m
Unit cell	a= 8.3940 Å
I/loor	4.93
Calc. density	5.200 g/cm ³
Reference	, "", Calculated from ICSD using POWD-12++ 110 , 1050 (1997)

C: Fe₂O₃Al₂O₃ (CaO)₄ (14.9 %)

Formula sum	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ (CaO) ₄
Entry number	00-074-0803
Figure-of-Merit (FoM)	0.843439
Total number of peaks	151
Peaks in range	150
Peaks matched	120
Intensity scale factor	0.21
Space group	Pcmn
Crystal system	Pcmn
Unit cell	a= 5.5800 Å
I/loor	1.87
Calc. density	3.735 g/cm ³
Reference	, "", Calculated from ICSD using POWD-12++ 12 , 149 (1997)

5. Analisa *Match!* dari XRD campuran serbuk magnetit dan semen Portland tipe 1 dengan perbandingan konsentrasi (1:5)



Matched Phases

Index	Amount (%)	Name
A	62.2	
B	18.9	
C	18.9	

Formula sum
Ca3 (Si O4) O
Ca O (Al2 O3)2
Fe2 O3 Al2 O3 (Ca O)4

A: Ca3 (Si O4) O (62.2 %)

Formula sum	Ca3 (Si O4) O
Entry number	00-073-0599
Figure-of-Merit (FoM)	0.869176
Total number of peaks	105
Peaks in range	103
Peaks matched	68
Intensity scale factor	0.76
Space group	R3m
Crystal system	R3m
Unit cell	a=7.0567 Å
I/lor	1.28
Calc. density	3.168 g/cm³
Reference	,"", Calculated from ICSD using POWD-12++ 281, 332 (1997)

B: Ca O (Al₂ O₃)₂ (18.9 %)

Formula sum	Ca O (Al ₂ O ₃) ₂
Entry number	00-071-2090
Figure-of-Merit (FoM)	0.801950
Total number of peaks	183
Peaks in range	181
Peaks matched	121
Intensity scale factor	0.21
Space group	C2/c
Crystal system	C2/c
Unit cell	a= 12.8398 Å
I/ cor	1.16
Calc. density	2.914 g/cm ³
Reference	, ^{'''} , Calculated from ICSD using POWD-12++ 26 , 1230 (1997)

C: Fe₂ O₃ Al₂ O₃ (Ca O)₄ (18.9 %)

Formula sum	Fe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃ (Ca O) ₄
Entry number	00-074-0803
Figure-of-Merit (FoM)	0.830525
Total number of peaks	151
Peaks in range	150
Peaks matched	92
Intensity scale factor	0.34
Space group	Pcmn
Crystal system	Pcmn
Unit cell	a= 5.5800 Å
I/ cor	1.87
Calc. density	3.735 g/cm ³
Reference	, ^{'''} , Calculated from ICSD using POWD-12++ 12 , 149 (1997)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Analisis Fasa, Sifat Magnetik, dan Penyerapan Gelombang Mikro Bahan Serbuk Magnetit (Fe_3O_4)-Semen Portland Tipe I” maka didapatkan kesimpulan bahwa perbandingan konsentrasi dengan jumlah serbuk magnetit (Fe_3O_4) yang lebih banyak dari pada semen Portland tipe 1 menyebabkan sifat magnetik yang semakin besar yaitu memiliki nilai saturasi magnetik dan remanensi magnetik masing-masing sebesar 38,74 emu/gr dan 16,24 emu/gr untuk perbandingan 5:1, sedangkan penyerapan gelombang mikro paling besar adalah pada perbandingan konsentrasi serbuk magnetit yang lebih banyak yaitu 3:1 dengan nilai *reflection loss* sebesar -19,15 dB pada frekuensi 8,24 GHz, serta perbandingan konsentrasi yang paling efektif untuk lapisan bangunan penyerap gelombang mikro adalah 3:1 (serbuk magnetit : semen Portland tipe 1) sebagai perbandingan paling ideal untuk pelapis permukaan bangunan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian ini yaitu dalam proses pencampuran agar dilakukan lebih lama agar sampel yang dihasilkan lebih homogen dan merata, serta agar menggunakan alat pencampur yang lebih efektif.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, Erini. 2011. "Pembuatan Magnet Permanen Ba-Hexa Ferrite ($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dengan Metode Koopresipitasi dan Karakterisasinya". Medan : Universitas Sumatera Utara
- Bhakti, Henny Dwi. 2013. "Pengaruh Ukuran Partikel Fe_3O_4 dari Pasir Besi sebagai Bahan Penyerap Mikro pada Frekuensi X dan Ku Band". Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS tahun 2013.
- Blaney, Lee. 2007. **Magnetite (Fe_3O_4): Properties, Synthesis, and Applications**. Lehigh Review, paper 5 Volume 15.
- Botahala, Loth. 2013. "Peranan Abu Sekam Padi Terhadap Stabilitas Kualitas Semen Portland Komposit yang Menggunakan Aditif Batu Kapur". Tesis Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanudin tahun 2013.
- Chu-Kia Wang, Salmon Charles G. 1993. **Desain Beton Berulang**. Erlangga. Jakarta.
- Cullity, B. D, 1972. **Introduction to Magnetic Materials**. Addison-Wesley Series in metalurgi and materials. University of Notre Dame.
- Hartono, Beta. 2014. "Pengolahan Pasir Besi Menjadi Spon". dalam webnya (www.vedcmalang.com). Diakses pada tanggal 2 Maret 2016 pukul 04.00 WIB
- Hebeish, A. A. 2008. "*Factors Affecting the Performance of the Radar Absorbant Textile Materials of Different Types and Structures*". *Progress In Electromagnetic Research B*, Vol. 3, 219-226.
- Fitrothul, Qodri K. 2012. "Efek Substitusi Parsial Ion La Pada Material Sistem $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{O} \cdot 6(\text{Fe}_{1,5}\text{Mn}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{O}_3)$ terhadap Sifat Absorpsi Gelombang Mikro". Tesis Program Studi Ilmu Material FMIPA UI tahun 2012.
- Linda, Erika Y. N. 2012. "Sintesis Nanokomposit PAni/ Fe_3O_4 sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro".

- Jurnal Fisika Unand Vol. 1, No. 1, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.
- Marzuki. 2009. "Analisa Penambahan Additive Batu Gamping Terhadap Kualitas Komposisi Kimia Semend Portland". *J. Chemica*, 10 (1) 64-78.
- Mashuri, 2012. "Partikel Nano $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ Berbahan Baku Fe_3O_4 dari Pasir Besi sebagai Bahan Penterap Gelombang Mikro pada Frekuensi Tinggi." Disertasi Program Doktor Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS tahun 2012.
- Mawasah, Rahmania. 2015. " Pengaruh Variasi pH Pelarut HCl pada Sintesis Barium M-Heksaferrit dengan Doping Zn ($\text{BaFe}_{11,4}\text{Zn}_{0,6}\text{O}_{19}$) Menggunakan Metode Kopresipitasi". Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS
- Nicolaescu I. 2006. "*Radar Absorbing Materials Used For Target Camouflage*". *Journal of Optoelectronics & Advanced Material* 8(1): 333-338.
- Nuzully, Seveny dkk. 2013. "Pengaruh Konstrasi *Polyethylene glycol* (PEG) pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG-*Coated* Fe_3O_4 ". *Jurnal Fisika Indonesia* No.51, Vol XVII, Edisi Desember 2013.
- Ouda, Ahmed S. 2015. "The Effect of Replacing Sand by Iron Slag on Physical, Mechanical and Radiological Properties of Cement Mortar". Tabuk University, Tamymaa Branch, Saudi Arabia.
- Riyadi M. dan Amalia. 2005. **Teknologi Bahan I**. Jurusan Teknik Sipil. Politeknik Negeri Jakarta.
- Solihah, Lia Kurnia. 2010. "Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe_3O_4 yang berasal dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (ALDRICH)". Tugas Akhir Jurusan Fisika Fakultas MIPA ITS tahun 2010.
- Sulungbuludi, Grace Tj, Mujamilah, dan Ridwan. 2006. "Variasi Komposisi Fe(II)/Fe(III) pada Proses Sintesis Spion dengan Metode Presipitasi". *Jurnal Sains Materi Indonesia* Vol.8 : 31-34.

- Sunaryo dan Wira Widyawidura. 2010. "Metode Pembelajaran Bahan Magnet dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika". Jurnal Cakrawala Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Jakarta No. 1 Th. XXIX.
- Susanta, Gatut dan Danang Kusjuliasih P. 2012. **Cara Praktis Menghitung Kebutuhan Material**. Griya Kreasi. Bogor.
- Won-Jun L, Sang-Eui L, Chun-Gon K. 2005. "*Tensile & Electrical Properties Of Polypyrrole/Epoxy Composites For Radar Absorbing Materials*". Fukugo Zairyo Shinpojumu Koen Yoshishu 30: 25-26.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis “Tri Oktafiana” merupakan anak ke 3 dari 4 bersaudara yang lahir dari pasangan bapak Suwondo dan ibu Lis Kundriatin. Penulis lahir di Kota Mojokerto pada 28 Oktober 1993 tepat 45 tahun setelah Sumpah Pemuda diikrarkan. Penulis menempuh pendidikan formal antara lain di TK Busthanul Atfal 2 Kota Mojokerto, SDN Balongsari 6 Kota Mojokerto, SMPN 1 Kota Mojokerto, dan SMAN 3 Kota Mojokerto. Penulis menjadi mahasiswi Fisika ITS sejak tahun 2012 melalui jalur masuk SNMPTN tulis dan terdaftar dengan NRP 1112100068. Selama menjadi mahasiswi Fisika ITS, penulis aktif sebagai Asisten Fisika Dasar 1 dan 2 selama 4 semester serta menjadi Asisten Fisika Laboratorium Bidang Material selama 1 semester. Penulis juga aktif di beberapa organisasi seperti HIMASIKA ITS selama 2 kepengurusan, FOSIF ITS dan JMMI ITS selama 1 kepengurusan. Harapan penulis adalah agar karya ini dapat bermanfaat untuk pembacanya sebagai sarana mengemabangkan potensi diri untuk melakukan penelitian-penelitian terkait. Kritik dan saran yang bersifat membangun dapat dikirim ke trioktafiana@gmail.com.